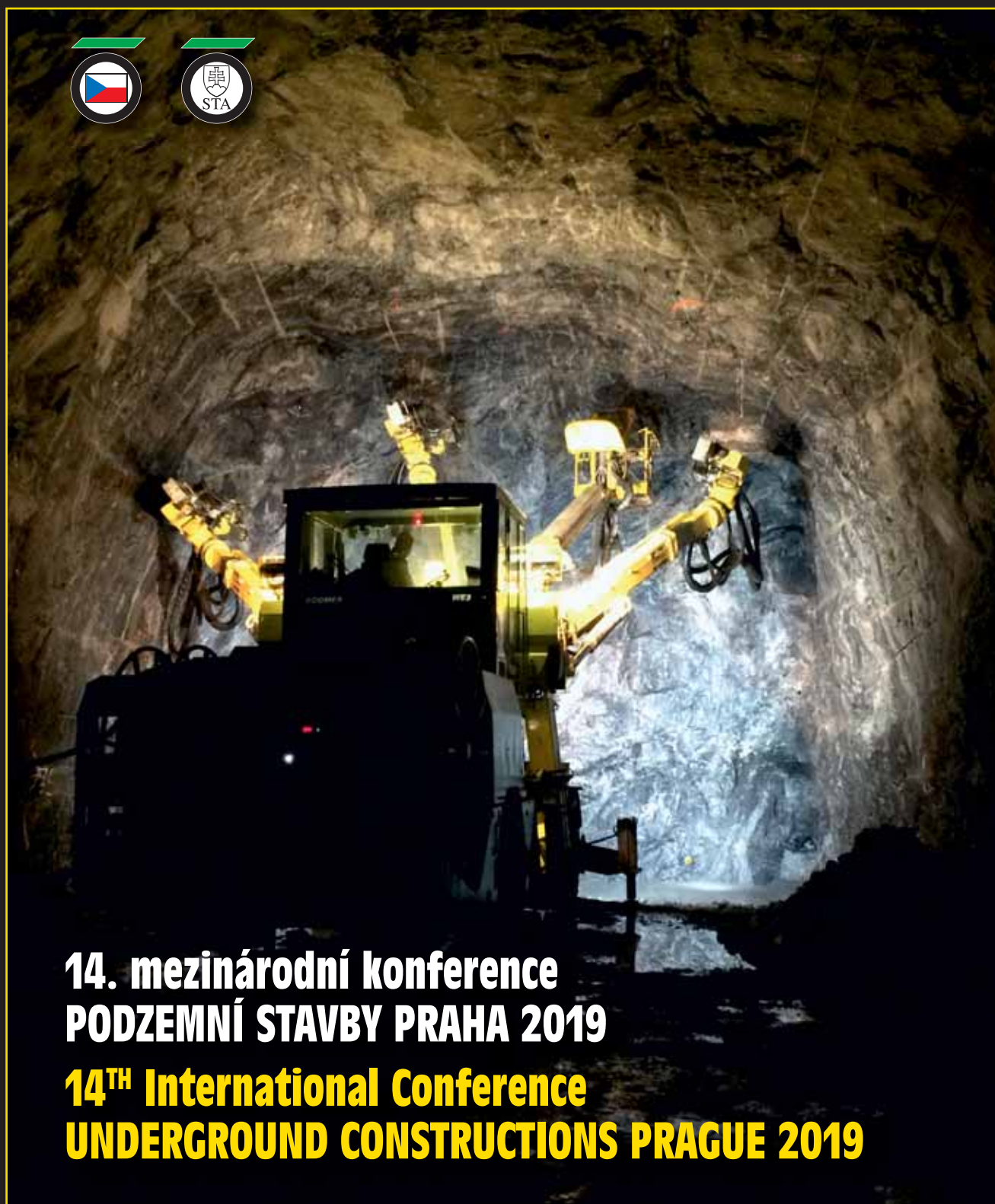


ČASOPIS ČESKÉ TUNELÁŘSKÉ ASOCIACE A SLOVENSKEJ TUNELÁRSKEJ ASOCIÁCIE ITA-AITES
MAGAZINE OF THE CZECH TUNNELLING ASSOCIATION AND SLOVAK TUNNELLING ASSOCIATION ITA-AITES



**14. mezinárodní konference
PODZEMNÍ STAVBY PRAHA 2019**

**14TH International Conference
UNDERGROUND CONSTRUCTIONS PRAGUE 2019**



Umění spolupráce

Kvalita, přesnost a důslednost v každém detailu.

Společná koordinovaná práce lidí desítek oborů a profesí.

Schopnost řešit náročná zadání a odvaha hledat nová řešení.

Je tohle umění? Možná ne. Jen to dobře umíme.

www.metrostav.cz

METROSTAV

Podzemní stavby (vývoj, výzkum, navrhování, realizace)
Časopis České tunelářské asociace a Slovenskej tunelárskej asociácie ITA-AITES
Založen Ing. Jaroslavem Gránem v roce 1992

OBSAH

Editorial:

prof. Ing. Matouš Hilar, M.Sc., Ph.D., CEng., MICE,
člen redakční rady časopisu Tunel **1**

Úvodníky:

Jiří Bělohav, prezident Skupiny Metrostav **2**

Ing. Ondřej Fuchs, generální ředitel Subterra a.s. **3**

Tunely Ejpvovice – definitivní zajištění propojky č. 8 stříkaným betonem

Václav Anděl, Ing. Petr Svoboda, Ing. Petr Hybský,
Ing. Štefan Ivor, Metrostav a.s. **4**

Trafové tunely metra A stanice Espoonlahti, Finsko

Ing. Aleš Gothard, Ing. Pavel Herman, Metrostav a.s. **12**

Tunel Žilina

Ing. Andrej Korba, Ing. Alena Hasíková, Ing. Jiří Mosler, Metrostav a.s. **21**

Ražba pod jezerem Mälaren – Förbifart Stockholm projekt FSE209

Ing. Tomáš Němeček, Subterra a.s., SBT Sverige AB **30**

Tunel Milochov – předpoklad projektu a skutečnost

Ing. Petr Velička, Ing. Jiří Matějčík, Subterra a.s. **39**

Tunel Herrschaftsbuck

Ing. Jan Kubek, Ing. Pavel Farský, Subterra, a.s. **47**

První statické výpočty pro Novou rakouskou tunelovací metodu

se zaměřením na polygonální metodu

Ing. Jaromír Zlámál, POHL cz, a.s. **63**

Fotoreportáž z ražeb tunelu Milochov

– modernizace trati Púchov – Žilina **76**

Fotoreportáž z výstavby tunela Žilina **77**

Ze světa podzemních staveb **85**

Zprávy z tunelářských konferencí **86**

Aktuality z podzemních staveb v České a Slovenské republice **88**

Z historie podzemních staveb **94**

Výročí **99**

Rozloučení **109**

Z činnosti pracovních skupin **110**

REDAKČNÍ RADA / EDITORIAL BOARD

Čeští a slovenští členové / Czech and Slovak members

Předseda / Chairman: prof. Ing. Jiří Barták, DrSc. – Stavební fakulta ČVUT v Praze

Ing. Tomáš Ebermann, Ph.D. – GEOTest, a.s.

Ing. Miloslav Frankovský – Terraprojekt a.s.

prof. Ing. Matouš Hilar, MSc., Ph.D., CEng., MICE – 3G Consulting Engineers s.r.o.

doc. Ing. Vladislav Horák, CSc. – Fakulta stavební VUT v Brně

doc. RNDr. Eva Hrubešová, Ph.D. – VŠB-TU Ostrava

RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D. – PUDIS a.s.

Ing. Viktória Chomová – STA

Ing. Otakar Krásný – GeoTec-GS, a.s.

Ing. Ján Kušnir – REMING CONSULT a.s.

Ing. Libor Mařík – HOCHTIEF CZ a.s.

Ing. Soňa Masarovičová – ŽU, Stavební fakulta

Ing. Miroslav Novák – METROPROJEKT Praha a.s.

doc. Dr. Ing. Jan Pruška – Stavební fakulta ČVUT v Praze

Ing. Boris Šebesta – Metrostav a.s.

Ing. Michal Šerák – Inženýring dopravních staveb a.s.

doc. Ing. Richard Šňupárek, CSc. – Ústav geoniky AV ČR, v.v.i.

Ing. Pavel Šourek – SATRA, spol. s r.o.

VYDAVATEL

Česká tunelářská asociace a Slovenská tunelárska asociácia ITA-AITES pro vlastní potřebu

DISTRIBUCE

členské státy ITA-AITES

členové EC ITA-AITES

členské organizace a členové CzTA a STA

externí odběratelé

povinné výtisky 35 knihovnám a dalším organizacím

REDAKCE

Dělnická 12, 170 00 Praha 7, tel.: +420 702 062 610

e-mail: pruskova@ita-aites.cz

web: http://www.ita-aites.cz

Vedoucí redaktor: Ing. Markéta Prušková, Ph.D.

Odborní redaktori: doc. Dr. Ing. Jan Pruška, Ing. Pavel Šourek,
RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D., Ing. Jozef Frankovský

Grafické zpracování: Ing. Jiří Šilar DTP, Na Záměšli 502/3, 150 00 Praha 5

Tisk: SERIFA, s.r.o., Jinonická 804/80, 158 00 Praha 5

Foto na obálce: Ražba Tunelu Skärholmen na silničním obchvatu Stockholmu,

Švédsko (autor Ing. Michal Přenosil)

Underground Construction (Development, Research, Design, Realization)
Magazine of the Czech Tunnelling Association and the Slovak Tunnelling Association ITA-AITES
Established by Ing. Jaroslav Grán in 1992

CONTENTS

Editorials:

prof. Ing. Matouš Hilar, M.Sc., Ph.D., CEng., MICE,

Member of Editorial Board **1**

Jiří Bělohav, President of the Metrostav Group **2**

Ing. Ondřej Fuchs, Chief Executive Officer, Subterra a.s. **3**

Ejpvovice Tunnels – Final Excavation Support

of Cross Passage No. 8 with Shotcrete

Václav Anděl, Ing. Petr Svoboda, Ing. Petr Hybský,

Ing. Štefan Ivor, Metrostav a.s. **4**

Underground Railway Tunnels and Station of Espoonlahti, Finland

Ing. Aleš Gothard, Ing. Pavel Herman, Metrostav a.s. **12**

Žilina Tunnel

Ing. Andrej Korba, Ing. Alena Hasíková, Ing. Jiří Mosler, Metrostav a.s. **21**

Tunnelling under Lake Mälaren

– Förbifart Stockholm Project FSE209

Ing. Tomáš Němeček, Subterra a.s., SBT Sverige AB **30**

Milochov Tunnel – Design Assumptions and Reality

Ing. Petr Velička, Ing. Jiří Matějčík, Subterra a.s. **39**

Herrschaftsbuck Tunnel

Ing. Jan Kubek, Ing. Pavel Farský, Subterra, a.s. **47**

First Structural Analyses for the New Austrian Tunnelling Method

Focusing on Polygonal Method

Ing. Jaromír Zlámál, POHL cz, a.s. **63**

Picture Report from the Excavation of the Milochov Tunnel –

Modernisation of Púchov – Žilina Track **76**

Picture Report from Žilina Tunnel Construction **77**

The World of Underground Constructions **85**

News from Tunnelling Conferences **86**

Current News from the Czech and Slovak

Underground Constructions **88**

From the History of Underground Constructions **94**

Anniversaries **99**

Last Farewell **109**

CzTA Working Groups **110**

Ing. Václav Veselý – SG Geotechnika a.s.

Ing. Jan Vintera – Subterra a.s.

Ing. Jaromír Zlámál – POHL cz, a.s.

CzTA ITA-AITES: Ing. Markéta Prušková, Ph.D.

Zahraniční členové / International members

Prof. Georg Anagnostou – ETH Zürich, Switzerland

Dr. Nick Barton – NICK BARTON & ASSOCIATES, Norway

Prof. Adam Bezuijen – GHENT UNIVERSITY, Belgium

Prof. Tarcisio B. Celestino – UNIVERSITY OF SAO PAULO, Brazil

Dr. Vojtech Gall – GALL ZEIDLER CONSULTANTS, USA

Prof. Dimitrios Kolymbas – UNIVERSITY OF INNSBRUCK, Austria

Prof. In-Mo Lee – KOREA UNIVERSITY, South Korea

Prof. Daniele Peila – POLITECNICO DI TORINO, Torino, Italy

Prof. Wulf Schubert – GRAZ UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Austria

Prof. Ove Stephansson – GFZ Potsdam, Germany

Prof. Walter Wittke – WBI GmbH, Germany

PUBLISHED FOR SERVICE USE

by the Czech Tunnelling Association and the Slovak Tunnelling Association ITA-AITES

DISTRIBUTION

ITA-AITES Member Nations

ITA-AITES EC members

CzTA and STA corporate and individual members

external subscribers

obligatory issues for 35 libraries and other subjects

OFFICE

Dělnická 12, 170 00 Praha 7, tel./fax: +420 266 793 479

e-mail: pruskova@ita-aites.cz

web: http://www.ita-aites.cz

Editor-in-chief: Ing. Markéta Prušková, Ph.D.

Technical editors: doc. Dr. Ing. Jan Pruška, Ing. Pavel Šourek,
RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D., Ing. Jozef Frankovský

Graphic designs: Ing. Jiří Šilar DTP, Na Záměšli 502/3, 150 00 Praha 5

Printed: SERIFA, s.r.o., Jinonická 804/80, 158 00 Praha 5

Cover photo: Excavation of the Skärholmen tunnel on the Stockholm

by-pass road, Sweden (author Ing. Michal Přenosil)

ČLENSKÉ ORGANIZACE ČESKÉ TUNELÁŘSKÉ ASOCIACE A SLOVENSKEJ TUNELÁRSKEJ ASOCIÁCIE ITA-AITES

MEMBER ORGANISATIONS OF THE CZECH TUNNELLING ASSOCIATION AND SLOVAK TUNNELLING ASSOCIATION ITA-AITES

CZTA:

Čestní členové:

Prof. Ing. Josef Aldorf, DrSc. (†)
Prof. Ing. Jiří Barták, DrSc.
Ing. Jindřich Hess, Ph.D.
Ing. Karel Matzner
Ing. Pavel Mařík (†)

Členské organizace:

3G Consulting Engineers s.r.o.
Na usedlosti 513/16
office: Zelený pruh 95/97
140 00 Praha 4

AMBERG Engineering Brno, a.s.
Ptašinského 10
602 00 Brno

Angermeier Engineers, s.r.o.
Pražská 810/16
102 21 Praha 10

AQUATIS a.s.
Botanická 834/56
656 32 Brno

AZ Consult, spol. s r.o.
Klíšská 12
400 01 Ústí nad Labem

BASF Stavební hmoty
Česká republika s.r.o.
K Májovu 1244
537 01 Chrudim

EKOSTAV a.s.
Brigádníků 3353/351b
100 00 Praha 10

ELTODO, a.s.
Novodvorská 1010/14
142 00 Praha 4

Fakulta dopravní ČVUT v Praze
Konviktská 20
110 00 Praha 1

Fakulta stavební ČVUT v Praze
Thákurova 7
166 29 Praha 6

Fakulta stavební VŠB-TU Ostrava
L. Podéště 1875/17
708 33 Ostrava – Poruba

Fakulta stavební VUT v Brně
Veveří 331/95
602 00 Brno

GeoTec-GS, a.s.
Chmelová 2920/6
106 00 Praha 10 – Záběhlice

GEOtest, a.s.
Šmahova 1244/112
627 00 Brno

HOCHTIEF CZ a. s.
Plzeňská 16/3217
150 00 Praha 5

ILF Consulting Engineers, s.r.o.
Jirsíkova 538/5
186 00 Praha 8

INSET s.r.o.
Lucemburská 1170/7
130 00 Praha 3 – Vinohrady

Inženýring dopravních staveb a.s.
Na Moráni 3/360
128 00 Praha 2 – Nové Město

KELLER – speciální zakládání, spol. s r.o.
Na Pankráci 1618/30
140 00 Praha 4

METROPROJEKT Praha a.s.
I. P. Pavlova 1786/2
120 00 Praha 2

Metrostav a.s.
Koželužská 2450/4
180 00 Praha 8

Minova Bohemia s.r.o.
Lihovarská 1199/10
Radvanice
716 00 Ostrava

Mott MacDonald CZ, spol. s r.o.
Národní 984/15
110 00 Praha 1

OHL ŽS, a.s.
Burešova 938/17
602 00 Brno – Veverčí

POHL cz, a.s.
Nádražní 25
252 63 Roztoky u Prahy

PRAGOPROJEKT, a.s.
K Ryšánce 1668/16
147 54 Praha 4

Promat s.r.o.
V. P. Čkalova 22/784
160 00 Praha 6

PUDIS a.s.
Nad vodovodem 2/3258
100 31 Praha 10

ŘEDITELSTVÍ SILNIC A DÁLNIC ČR
Čerčanská 12
140 00 Praha 4

SAMSON PRAHA, spol. s r. o.
Týnská 622/17
110 00 Praha 1

SATRA, spol. s r.o.
Sokolská 32
120 00 Praha 2

SG Geotechnika a.s.
Geologická 4/988
152 00 Praha 5

SPRÁVA ÚLOŽIŠŤ
RADIOAKTIVNÍCH ODPADŮ
Dlážděná 1004/6
110 00 Praha 1 – Nové Město

Subterra a.s.
Koželužská 2246/5
180 00 Praha 8 – Libeň

SUDOP PRAHA a.s.
Olšanská 2643/1a
130 80 Praha 3

SŽDC, s. o.
Dlážděná 1003/7
110 00 Praha 1

UNIVERZITA PARDUBICE
Dopravní fakulta Jana Pernera
Studentská 95
532 10 Pardubice

ÚSTAV GEOLOGICKÝCH VĚD
Přírodovědecká fakulta
Masarykovy univerzity v Brně
Kotlářská 267/2
611 37 Brno

ÚSTAV GEONIKY AV ČR, v.v.i.
Studentská ul. 1768
708 00 Ostrava – Poruba

VIS, a.s.
Bezová 1658
147 01 Praha 4

Zakládání Group a.s.
Thámova 181/20
186 00 Praha 8

STA:

Čestní členovia:

doc. Ing. Koloman V. Ratkovský, CSc.
Ing. Jozef Frankovský
prof. Ing. František Klepsatel, CSc.
Ing. Juraj Keleši

Členské organizácie:

Alfa 04 a.s.
Jašíkova 6
821 07 Bratislava
Amberg Engineering Slovakia, s.r.o.
Somolického 819/1
811 06 Bratislava

BANSKÉ PROJEKTY, s.r.o.
Miletičova 23
821 09 Bratislava

BASF Slovensko, spol. s r.o.
Einsteinova 23
851 01 Bratislava

Basler & Hofmann Slovakia, s.r.o.
Panenská 13
811 03 Bratislava

Cognitio, s. r. o.
Rubínová 3166/18
900 25 Chorvátsky Grob

Doprastav, a.s.
Drieňová 27
826 56 Bratislava

DOPRAVOPROJEKT, a.s.
Kominárska 141/2,4
832 03 Bratislava

DPP Žilina s.r.o.
Legionárska 8203
010 01 Žilina

Geoconsult, spol. s r.o.
Tomášikova 10/E
821 03 Bratislava

GEOFOS, s.r.o.
Veľký diel 3323
010 08 Žilina

GEOstatik a.s.
Kragujevská 11
010 01 Žilina

HOCHTIEF CZ a.s.
o. z. Slovensko
Miletičova 23
821 09 Bratislava

HYDROSANING spol.s.r.o.
Poľnohospodárov 6
971 01 Prievidza

IGBM s.r.o.
Chrenovec 296
972 32 Chrenovec – Brusno

K-TEN Turzovka s.r.o.
Vysoká nad Kysucou 1279
023 55 Vysoká nad Kysucou

MAPEI SK, s.r.o.
Nádražná 39
900 28 Ivanka pri Dunaji

Metrostav a.s., org. zložka
Mlynské Nivy 68
821 05 Bratislava

Národná diaľničná spoločnosť, a.s.
Dúbravská cesta 14
841 04 Bratislava

Niedax, s. r. o.
Pestovateľská 6
821 04 Bratislava

OBO Bettermann, s.r.o.
Viničianska cesta 13
902 01 Pezinok

OHL ŽS, a.s., o.z.
Tuhovská 29
831 06 Bratislava 47

PERI, spol. s r.o.
Šamorínska 18/4227
903 01 Senec

Pudos plus, spol. s r.o.
Račianske mýto 1/A
839 21 Bratislava

Prirodovedecká fakulta UK
Katedra inžinierskej geológie
Mlynská dolina G
842 15 Bratislava

REMING CONSULT a.s.
Trnavská 27
831 04 Bratislava

Renesco a.s.
Panenská 13
811 03 Bratislava

Sika Slovensko, spol. s r.o.
Rybničná 38/e
831 07 Bratislava

SKANSKA SK, a.s. závod tunely
Košovská cesta 16
971 74 Prievidza

Slovenská správa ciest
Miletičova 19
826 19 Bratislava

SLOVENSKE TUNELY a.s.
Lamačská cesta 99
841 03 Bratislava

Spel SK spol. s r.o.
Františkánska 5
917 01 Trnava

STI, spol. s r.o.
Hlavná 74
053 42 Krompachy

STRABAG s.r.o.
Mlynské nivy 4963/56
821 05 Bratislava

STU, Stavebná fakulta
Katedra geotechniky
Radlinského 11
813 68 Bratislava

TAROSI c.c., s. r. o.
Madáchova 33
821 06 Bratislava

TECHNICKÁ UNIVERZITA
Fakulta BERG
Katedra dobývania ložísk a geotechniky
Katedra geotech. a doprav. staviteľstva
Letná ul. 9
042 00 Košice

Terraprojekt a.s.
Podunajská 24
821 06 Bratislava

TUBAU, a.s.
Pribylinská 12
831 04 Bratislava

TuCon, a.s.
K Cintorínu 63
010 04 Žilina – Bánová

Tunguard s.r.o.
Osloboditeľov 120
044 11 Trstené pri Hornáde

URANPRESS, spol. s r.o.
Čapajevova 29
080 01 Prešov

Ústav geotechniky SAV
Watsonova 45
043 53 Košice

VÁHOSTAV – SK, a.s.
Priemyselná 6
821 09 Bratislava

VUIS – Zakladanie stavieb, spol. s r.o.
Kopčianska 82/c
851 01 Bratislava

Železnice SR
Klemensova 8
813 61 Bratislava

ŽILINSKÁ UNIVERZITA
Stavebná fakulta, blok AE
Katedra geotechniky,
Katedra technológie a manažmentu stavieb
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Vážení příznivci tunelů,

tri roky uplynuly jako voda a opět je tu konference Podzemní stavby Praha. Držíme se osvědčeného formátu konference, který se snažíme oživit nestandardními akcemi. Před třemi lety byla konference uspořádána společně s Východoevropskou tunelářskou konferencí (EETC) a do programu konference byl zařazen půldenní seminář zaměřený na městské tunely. Letos proběhne v neděli před konferencí celodenní kurz pro mladé inženýry zaměřený na přípravu a výstavbu podzemních staveb. Během konference pak bude uspořádána panelová diskuse zaměřená na dlouhé železniční tunely, které se zúčastní ředitelé výstavby báзовých tunelů z Rakouska a Švýcarska. V České republice jsou dlouhodobě plánovány dva železniční tunely délky přes 20 km (tunel Praha – Beroun a tunel pod Krušnými horami), tudíž diskuse aspektů obdobných projektů by pro dané projekty mohla být přínosná. Snad se obě netradiční akce setkají s kladným ohlasem. Z odborného programu by opět měly zaujmout úvodní a vyzvané přednášky, na které standardně zveme renomované zahraniční odborníky, jejichž aktivního a vstřícného přístupu si dlouhodobě velmi vážíme. Doufáme, že nezklameme ani účastníky, u kterých převažuje důraz na společenskou stránku konference. Pro setkávání a diskuse bude čas i místo, samozřejmě s dostatkem kvalitního občerstvení.

Konferenční číslo časopisu TUNEL je tradičně věnováno hlavním sponzorům konference. Letos to jsou firmy Metrostav a Subterra, obě společnosti dodaly po třech článcích. První článek je zaměřený na využití definitivního ostění ze stříkaného drátkobetonu společně se stříkanou hydroizolací v propojce 8 tunelů Ejpvovice. Prosazování nestandardních řešení je na českých projektech značně komplikované, proto je sympatické, že se to v daném případě podařilo. Vzhledem k nedostatku tunelových projektů v ČR je následujících pět článků zaměřeno na zahraniční projekty uvedených českých firem. Postupně jsou představeny projekty stanice metra Espoonlahti ve Finsku, dálničního tunelu Žilina na Slovensku, ražby průzkumných tunelů pro silniční obchvat Stockholmu, železničního tunelu Milochov na Slovensku a dálničního tunelu Herrschaftsbusck v Německu. Určitě je pozitivní, že se českým zhotovitelským firmám daří získávat a úspěšně realizovat zahraniční zakázky. Poslední článek připomíná, jak byly u nás prováděny statické výpočty NRTM při jejím zavádění do ČR po roce 1990. Daný článek by měl být poučný především pro mladší kolegy, aby si uvědomili výhody současných možností dostupných výpočetních programů, jejichž využití umožňuje rychleji a podrobněji prověřit statické chování navrhovaných podzemních konstrukcí.

Čtenářům časopisu přeji zajímavé a poučné čtení. Všem účastníkům konference přeji, aby pro ně byla tato akce příjemným zážitkem.

Zdař Bůh!

prof. Ing. MATOUŠ HILAR, M.Sc., Ph.D., CEng., MICE
předseda vědecké rady konference PS 2019
člen redakční rady

Dear sympathisers of tunnels

Three years have passed like water and the conference Underground Construction Prague is again here. We keep to the proven conference format and try to revive it with nonstandard events. Three years ago, the conference was organised jointly with the Eastern European Tunnel Conference (EETC) and a half-day seminar focused on urban tunnels was incorporated into the conference programme. This year an all-day course for young engineers focused on preparation and implementation of underground construction projects will be held on the Sunday before the conference. A panel discussion focused on long railway tunnels will be organised during the conference and directors of base tunnels from Austria and Switzerland will participate in it. There are two over 20km long railway tunnels planned in the long term in the Czech Republic (the Prague – Beroun tunnel and a tunnel under Erzgebirge Mountains). Discussions about aspects of similar tunnels would therefore be beneficial for the projects. Hopefully, both events will meet with a positive response. Regarding the technical programme, the keynote and invited lectures, for which we invite renowned foreign experts, should again attract the attendees. We always appreciate the active and friendly approach of the experts. We believe that we will not disappoint even the participants for which the emphasis on the social aspect of the conference prevails. There will be time and room for meetings and discussions, of course together with plenty of quality refreshments.

The conference issue of TUNEL journal is traditionally dedicated to main conference sponsors. This year they are represented by the companies Metrostav and Subterra. Each of them submitted three papers. The first paper is focused on the use of the final steel fibre reinforced shotcrete lining with spray-applied waterproofing membrane in cross passage No. 8 of the Ejpvovice tunnel tubes. Enforcing nonstandard solutions for Czech projects is significantly complicated and it is for that reason nice that the effort was successful in this particular case. With respect to the lack of tunnel construction projects in the Czech Republic, the following five papers are focused on foreign projects realised by the above-mentioned Czech companies. They successively introduce projects for the Espoonlahti metro station in Finland, the Žilina motorway tunnel in Slovakia, excavation of exploratory tunnels on the road by-pass of Stockholm, the Milochov railway tunnel in Slovakia and the Herrschaftsbusck motorway tunnel in Germany. A certainly positive fact is that Czech construction contractors are successful in getting foreign orders and realising them. The last paper reminds the readers how NATM structural analyses were conducted at the time when the NATM was being introduced in the Czech Republic after 1990. The paper should be enlightening first of all for younger colleagues so that they realise the advantages of current possibilities of the computing softwares available, the application of which allows for faster and more detailed verification of structural behaviour of the underground structures being designed.

I wish interesting and instructive reading to TUNEL journal readers. I wish all conference attendees that this event is pleasant experience for them.

Prof. Ing. MATOUŠ HILAR, M.Sc., Ph.D., CEng., MICE
Scientific Council Chairman of the UC 2019
Member of Editorial Board



VÁŽENÍ PŘÁTELE,

jestli něco dělám opravdu nerad, tak je to mluvit/psát o sobě. Ale nějak se začít musí a doufejme, že mne to k těm našim tunelům dovede.

To, jak jsem se dostal do Metrostavu, je historka ke kávě. V roce 1973, po ukončení studia na Stavební fakultě, oboru KD, jsem hledal uplatnění. Toužil jsem se stát statikem. Práci v projekci jsem nenašel ani v jižních Čechách, odkud jsem, ani v Praze. Protože jsem neměl kde bydlet, zacítil jsem na zaměstnavatele, kteří nabízeli ubytování. Z protekce mne vzal Metrostav, i když měl plný stav a neměl pro mne odbornou práci.

Začal jsem tedy jako asistent – geodet na metru II.C. S Jirkou Kubou, Jardou Vlkem, Honzou Pilařem a dvěma zedníky Láďou Blažkem a Frantou Hessem, jsme v řepných polích na dnešním Jižním Městě začali vyměřovat budoucí stanice metra Opatov a Háje. Čas běžel a já jsem se stal stavbyvedoucím. Stanici metra Opatov (Družbu) jsem se svými kolegy předal v roce 1980.

Stavění mě začalo bavit. Poslali mne dokončit vodojem v Jesenici, pak na OZM a depo v Hostivaři. Odtud jsem se přesunul do Moskvy na stanici metra Pražská. Potom zpět do Prahy na stanici metra a depo Zličín. Stal jsem se hlavním stavbyvedoucím. Potom II. etapa VDŽ v Nesměřicích, a poté zase na metro v Praze.

Zatím pořád nikde žádný tunel.

V roce 1991 jsem se stal ředitelem divize 6. Stavěli jsme metro a spoustu vodohospodářských staveb po celých Čechách. V roce 1993 mne GR Ing. Jindřich Hess povolal do vedení podniku. Stal jsem se technickým a později výrobním a technickým ředitelem Metrostavu.

Do té doby mě s tunely spojovaly jen dva záznamy v indexu od profesora Straky.

Začal jsem se znovu učit. A učitele jsem měl výborné. Kromě Jindřicha Hesse a kolegů z Metrostavu, také profesora Zdeňka Eisensteina z Edmontonu.

Od ruských štítů a erektorů jsme přešli na ražení novou rakouskou tunelovací metodou. Potom jsme si osvojili i ražení razicími stroji /TBM/ a skandinávskou metodou „drill and blast“.

Souběžně s rozvojem tunelařiny Metrostav expandoval i v dalších segmentech. Stali jsme se univerzální firmou.

Zavedli jsme procesní řízení. Z Metrostavu jsme rozšířením a diverzifikací činností a prostřednictvím akvizic vytvořili Skupinu Metrostav o obratu 35 miliard korun. Stali jsme se absolutní jedničkou na českém stavebním trhu. Nikdy jsme neutrpěli finanční ztrátu. V posledních deseti letech jsme se, v reakci na krizi, dostali do světa a etablovali se v severských zemích, v Polsku, v Německu, ale i v Turecku a Bělorusku.

Z významných projektů v podzemí, které nás vždy někam posunuly dále, musím, kromě tunelů pražského metra, které nás nastartovaly, jmenovat i tunely na městském okruhu v Praze: Strahovský tunel (s Vojenskými stavbami), Mrázovka (se Subterrou), Blanka, silniční tunely na dálnici D8 – Panenská, Libouchec, Radejčín, Prackovice (se Subterrou), tunel Valík u Plzně, železniční tunely u Ejovic.

V zahraničí je pro nás velkou výzvou Island, kde dokončujeme už čtvrtý krásný tunel Dýrafjörður, tunely metra ve Finsku, silniční tunely v Norsku, obchvat ve Stockholmu (Subterra), podzemní díla silniční i železniční na Slovensku (spolu se Subterrou).

V tom výčtu nemohu nevzpomenout jeden tunel, který mi je velmi blízký, protože jsem byl u jeho zrodu a podílel jsem se na jeho vývoji i stavbě. Je to zaplavovaná část tunelu metra na trase IV. C mezi Holešovicemi a Trójou přes Vltavu v Praze. V roce 2002 převzali autoři tohoto mimořádného díla prestižní cenu „Awards for Outstanding Concrete Structures 2002“ v japonské Ósace.

V Metrostavu jsem šestačtyřicátý rok, přičemž osmnáct let jsem strávil v jeho vrcholových pozicích. Za tu dobu se mi osvědčilo pokoušet se rozeznávat důležité od triviálního, preferovat dlouhodobé cíle před krátkodobými a předřazovat blahobyt organizace před osobními cíli. Vždy jsem podporoval spolupráci na úkor konkurence.

Vážené kolegyně a vážení kolegové, vážení čtenáři časopisu TUNEL, vážení účastníci mezinárodní konference Podzemní stavby Praha 2019, tuneláři, přeji vám všem, aby vám naše řemeslo přinášelo tolik radosti, jako přinášelo a přináší mně.

Přesto, že v současnosti není v naší zemi do čeho píchnout, vidím světlo na konci tunelu.



JIŘÍ BĚLOHLAV

Prezident Skupiny Metrostav
President of the Metrostav Group

DEAR FRIENDS,

If there is something I really hate, it is to speak/write about myself. Nevertheless, some beginning must be chosen and I believe that it will get me to our tunnels.

The way in which I got to Metrostav is a story to be discussed over coffee. In 1973, after finishing the studies at the Faculty of Civil Engineering with a degree from the Department of Civil Engineering and Traffic Structures, I was looking for fulfilment. I longed to become a structural engineer. I did not find a job in a designing office either in southern Bohemia, where I am from, or in Prague. Because I did not have where to live, I focused on employers who offered accommodation. Metrostav employed me as a favour, despite the fact that its capacity was full and it had no professional job for me.

So I started to work in the position of an assistant – surveyor on the metro line II.C. Together with Jirka Kuba, Jarda Vlk, Honza Pilař and two bricklayers, Láďa Blažek and Franta Hess, we started to set out the future metro stations, Opatov and Háje, in beet fields in the current South City residential area. Time was running and I became a site agent. Me, together with my colleagues, handed the Opatov (Družba) station over to the client in 1980.

Working on construction sites started to enjoy me. I was sent to finish the water reservoir in Jesenice, then to the metro repair base and depot in Hostivař. From those sites I was transferred to Moscow, metro station Pražská. Then back to Prague to Zličín metro station and depot. I became a chief site manager. The second stage of the Želivka water scheme in Nesměřice followed, and then again metro in Prague.

Still no tunnel mentioned.

In 1991 I became the director of Division 6. We constructed metro and numerous hydraulic structures all over Bohemia. In 1993, general director CEng. Jindřich Hess called me to the Board of Directors. I became a chief technical officer and later a chief operating and technical officer of Metrostav.

Until then only two records in the undergraduate's course-unit record book made by Professor Straka connected me with tunnels.

I started again to learn. My teachers were excellent. Apart from Jindřich Hess and colleagues from Metrostav, it was even professor Zdeněk Eisenstein from Edmonton.

From Russian shields and erectors, we changed over to the use of the New Austrian Tunnelling Method. Then we acquired even the method of driving tunnels using tunnel boring machines (TBM) and the Scandinavian Drill&Blast method.

Parallel to the development of tunnel construction industry, Metrostav expanded even to other segments. We became a universal firm.

We implemented the process management. We created the Metrostav Group with the turnover of 35 billion crowns from Metrostav by expanding and diversifying its activities and through acquisitions. We have become absolute number one on the Czech market. We have never suffered a financial loss. In recent ten years we have got, as a response to the crisis, into the world and established us in Nordic countries, Poland, Germany, but also in Turkey and Belarus.

Of the important underground construction projects which have always shifted us ahead, apart from the Prague metro tunnels which had launched us, I must also mention the tunnels on the City Circle Road: the Strahov tunnel (constructed jointly with Vojenské Stavby), Mrázovka (jointly with Subterra), Blanka, the tunnels on the D8 motorway – Panenská, Libouchec, Radejčín, Prackovice (jointly with Subterra), the Valík tunnel near Plzeň, railway tunnels near Ejovice.

Regarding working abroad, the great challenge for us is Iceland, where we are finishing the already fourth nice tunnel, Dýrafjörður, metro tunnels in Finland, road tunnels in Norway, a by-pass in Stockholm (Subterra), road and motorway underground structures in Slovakia (jointly with Subterra).

In this overview, I cannot forget one tunnel which is very close to me because I was at its origination and participated in its development and construction. It is the immersed section of the tunnel on Line IV C between Holešovice and Trója, launched from riverside cofferdams across the Vltava. In 2002, the authors of this exceptional design received the prestigious appreciation „Awards for Outstanding Concrete Structures 2002“ in Japanese Ósaka.

It is already the forty sixth's year that I have been with Metrostav. I have spent eighteen years in its top positions. During that time, it worked for me that I tried to distinguish the important from the trivial, to prefer long-term goals to short-term ones and to prefer prosperity of the organisation to personal goals. I have always promoted collaboration at the expense of competition.

Dear colleagues, dear TUNEL journal readers, dear attendees to the conference Underground Construction Prague 2019, tunnel constructors, I wish all of you that our trade brings so much joy to you as it brought and is bringing to me.

Even though there is currently nothing to work on in our country, I can see light at the end of the tunnel.



VÁŽENÍ ČTENÁŘI,

těší mě, že se mně znovu dostává příležitosti oslovit vás na stránkách časopisu Tunel. Mrzí mě však, že text svého minulého příspěvku z roku 2017 by byl z velké části použitelný i dnes. Stačilo by jen změnit některé slovesné časy, případně interpunkce. Tak například z minulé otázky, zda „prorážky na tunelu Ejpvovice a Kolektoru Hlávkův most budou na delší dobu v Čechách ty poslední“, by se mohla stát věta oznamovací v čase minulém a tečkou na konci. Věta bohužel plně pravdivá.

Neustále se proto musíme vracet k tématu, jak v těžkých domácích časech zachovat své tunelářské kapacity a jejich profesionální dovednosti. A řešíme tedy otázku – „Co dělat“? Takto se ve svém prvním politickém traktátu ptal i profesionální revolucionář Lenin byv inspirován stejnojmenným názvem románu ruského literáta Černyševského. První snil o politické straně nového revolučního typu, druhý o „novém člověku“. A o čem sní Subterra? Zdává se nám o krásných českých tunelových zakázkách, na kterých jsme v minulosti získali firemní renomé. Některé z nich stručně připomínáme v krátkém exkurzu do historie naší společnosti uvnitř tohoto čísla. Přiznat se hned v úvodu odborného časopisu Tunel k tomu, že Subterra, která má podzemí ve svém názvu, nyní v tuzemsku žádný tunel nestaví, je poněkud paradoxní. Mrzí nás proto, že domácí trh v současné době nenabízí v tomto oboru více příležitostí.

A vůči oběma ruským autorům je zde ještě jeden rozdíl. Oba měli na své přemýšlení spoustu času; revolucionář ve své poklidné emigraci v kraji pod Alpami, literát v chládku cely Petropavlovské pevnosti. Subterra, jejíž divize podzemního stavitelství je z našich stále tou nejpočetnější, tolik času na hledání odpovědi neměla a musela je nalézt poměrně rychle. A tak obrátila svoji pozornost do zahraničí: na Slovensko, do Německa i do Švédska.

Na Slovensku nyní stavíme železniční tunel Milochov. V Německu jsme úspěšně provedli rekonstrukci železničního tunelu Alter Kaiser Wilhem v malebném údolí řeky Mosely a zahájili, společně se společností BeMo Tunnelling GmbH, výstavbu dvou silničních tunelů – Spitzenberg a Herrschftsuck. Ve Švédsku, po dokončení dvou přístupových tunelů, získala naše dceřiná společnost SBT Sverige AB zakázku i na tunel hlavní, který bude součástí nového severo-j jižního dálničního obchvatu Stockholmu. Zakázka má název FSE 209, Tunel Skärholmen. O ní, stejně jako i o dalších dvou zmiňovaných stavbách – tunelech Milochov a Herrschftsuck se můžete blíže dočíst uvnitř tohoto čísla.

V osmdesátých letech minulého století prošla Subterra diverzifikací oborovou, v posledních letech si vnější prostředí vynutilo i diverzifikaci teritoriální. Loni jsme v zahraničí realizovali přibližně 31 % z našeho celkového obrátu, nepočítáme-li naše zahraniční dceřiné společnosti v Maďarsku a ve Švédsku. Společně s nimi dosáhla celková výše obrátu přibližně 6,8 miliardy Kč, což je v naší dosavadní historii rekord. Po poněkud kritickém a nostalgickém úvodu budu tedy končit na vlně optimismu. Opravňuji mě k tomu naše dobré loňské výsledky potvrzující skutečnost, že Subterra si s nástrahami vnějšího prostředí vždy uměla poradit. Věřím proto, že bude i v příštích letech zdravou, spolehlivou a oceňovanou stavební společností stavějící tunely nejen v zahraničí, ale i v České republice.



DEAR READERS,

I am pleased that I have again the opportunity to address you on the pages of “TUNEL” journal. Nevertheless, I am sorry that the text of my previous article from 2017 would be largely applicable even today. Changing some tenses and punctuation would be enough for this purpose. For example, it would be possible to replace the previous question whether the breakthroughs of the Ejpvovice tunnel and the Hlávka Bridge utility tunnel will be for a long time the last ones in the Czech Republic with a sentence using a past tense, with a full stop instead of a question mark at the end. Unfortunately, such a statement would be completely true.

This is why we have to constantly return to the topic how we can maintain our tunnel construction capacities and the professional skills of our employees during hard times at home. It means that we are dealing with the problem – “What to do?” Even Lenin, a professional revolutionary, put this question in his first political writings having been inspired by the novel of the same title written by Russian writer Chernyshevski. The former one dreamed about a political party of a new revolutionary type, whilst the latter dreamed about “a new man”. What does Subterra dream about? We often dream about nice Czech tunnel construction projects for which we won our renown in the past. We will briefly remind you of some of them inside this “TUNEL” issue, in a short excursion to the history of our company. It is paradoxical to admit at the beginning of the professional “TUNEL” journal editorial that Subterra, having the underground in its name, has currently no domestic tunnel construction in its portfolio. We are therefore really sorry that the domestic market does not offer more opportunities in this field.

And there is another difference in comparison with the two Russian authors. Both of them had lots of time available for their contemplations; the revolutionary in his placid emigration in the territory under the Alps and the writer in a cool cell in the Petropavlovsk fortress. Subterra and its underground construction division, the staff of which is still one of our most numerous, did not have so much time available for seeking the answer and had to find it relatively quickly. So it turned its attention abroad, to Slovakia, Germany and Sweden.

In Slovakia, we are currently constructing the Milochov railway tunnel. In Germany, we had successfully finished reconstruction of the Alter Kaiser Wilhelm railway tunnel in a picturesque valley of the Mosel River and started, together with BeMo Tunnelling GmbH, the construction of two road tunnels – Spitzenberg and Herrschftsuck. In Sweden, after completing two access tunnels, our daughter company SBT Sverige AB won the tender for the main tunnel, which will be part of the new north-south motorway by-pass of Stockholm. The project is called FSE 209, Tunnel Skärholmen. You can read about it and other two above-mentioned tunnels, the Milochov and Herrschftsuck, in this issue.

In the 1980s, Subterra passed through diversification of specialisations and, in recent years, the situation on the market has enforced even the territorial diversification. Last year we realised approximately 30% of our total turnover abroad, if we do not count with turnovers of our foreign daughter companies in Hungary and Sweden. Jointly, our turnover reached approximately CZK 6.8 billion, which is a record in our history. It means that, after a rather critical and nostalgic opening, I can finish my article on the wave of optimism. The good results from the last year give me the right to do it. Subterra has always been able to cope with the pitfalls of the market. For that reason, I believe that it will remain a healthy, reliable and valued civil engineering company constructing tunnels not only abroad, but also in the Czech Republic.

ING. ONDŘEJ FUCHS

generální ředitel, Subterra a.s.
Chief Executive Officer, Subterra a.s.

TUNELY EJPOVICE – DEFINITIVNÍ ZAJIŠTĚNÍ PROPOJKY Č. 8 STŘÍKANÝM BETONEM

EJPOVICE TUNNELS – FINAL EXCAVATION SUPPORT OF CROSS PASSAGE NO. 8 WITH SHOTCRETE

VÁCLAV ANDĚL, PETR SVOBODA, PETR HYBSKÝ, ŠTEFAN IVOR

ABSTRAKT

V závěru roku 2018 byl zprovozněn modernizovaný úsek železniční trati mezi Rokycany a Plzní. Součástí modernizace byla také výstavba dvojice Ejpovických tunelů, které se s délkou 4150 m a 4174,4 m staly nejdelšími díly svého druhu v rámci sítě SŽDC v České republice. Součástí obou tunelů je osm propojovacích chodeb vyražených pomocí technologie NRTM, které plní funkci evakuační v případě mimořádné události a zároveň technologickou, kdy jsou v propojkách umístěny různé technologie slabo- a silnoproudé nebo zabezpečovací. Předkládaný příspěvek se zaměřuje mimo základní shrnutí o průběhu ražeb zejména na zkušenosti z realizace definitivního ostění propojky č. 8 pomocí stříkaného drátkobetonu na rozdíl od klasické betonáže definitivního ostění do formy.

ABSTRACT

The modernised section of the railway line between Rokycany and Plzeň was brought into service at the end of 2018. The construction of the couple of Ejpovice tunnels, which became with their lengths of 4150m and 4174.4m the longest structures of this type within the Railway Infrastructure Administration network in the Czech Republic, was part of the modernisation project. Eight cross passages excavated using the NATM are parts of both tunnels. They fulfil the evacuation role in cases of extraordinary events and, at the same time, the technical role for various weak-current and heavy-current or interlocking equipment installed in the cross passages. In addition to basic summaries of the excavation process, the paper is first of all focused on the experience from the construction of the final lining of cross passage No. 8 using steel fibre reinforced shotcrete compared with casting concrete behind formwork.

1. ÚVOD

Tunely Ejpovice jsou součástí rozsáhlého železničního liniového stavebního projektu nazvaného „Modernizace trati Rokycany – Plzeň“. Stěžejním cílem tohoto projektu je dosažení jízdní doby na trase z Prahy do Plzně pod 1 hodinu z hlavního nádraží v Praze na hlavní nádraží v Plzni a též v opačném směru. V samotném úseku Rokycany – Plzeň se oproti stávajícímu stavu jízda vlakem zkrátí pro vlaky o cca 9 minut (obr. 1).

2. CHARAKTERISTIKA PROJEKTU

Aby se mohlo docílit zrychlení jízdy vlaků v tomto úseku, projektant investora navrhl dva jednokolejné tunely délky cca 4150 m včetně osmi propojovacích chodeb, tzv. propojek. Jednokolejné tunely byly raženy pomocí technologie TBM, kdy ražený profil tunelů byl cca 10 m. Propojky, které se nacházejí po vzdálenosti do 500 m mezi tunely, byly raženy pomocí technologie NRTM a jejich délka byla dána osovou vzdáleností tunelů od cca 15 m až po cca 35 m. V zadávací dokumentaci stavby bylo ostění všech propojek navrženo jako dvouplášťové, tj. klasické primární ostění, mezilehlá fóliová izolace a trvalé ŽB ostění betonované do formy.

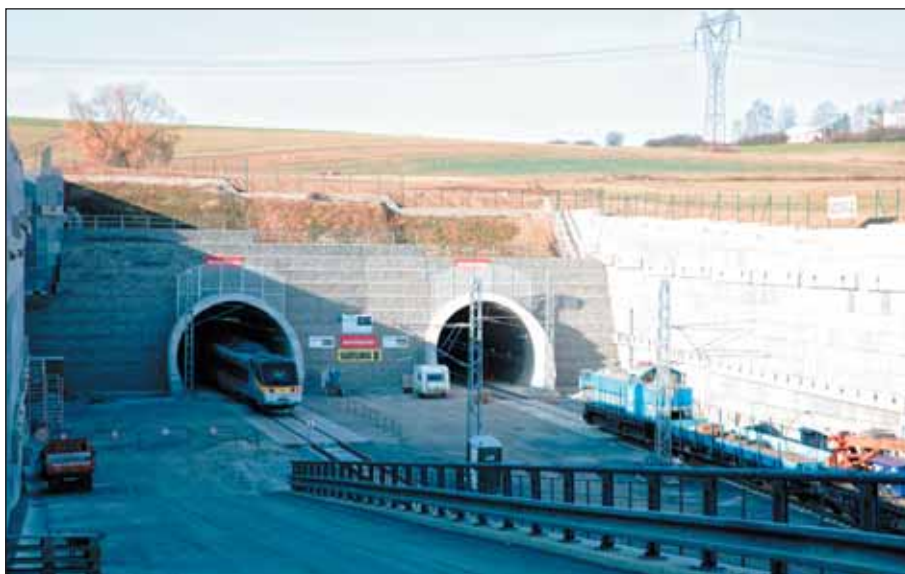
Geologická stavba zájmového území byla poměrně komplikovaná (obr. 2). K nejstarší jednotce zde patří horniny svrchního prote-rozoika zastoupené převážně tmavými břidlicemi a méně pak světlými prachovci. V místě tektonických zón jsou horniny s extrémně velkou hustotou diskontinuit a vyskytují se

1. INTRODUCTION

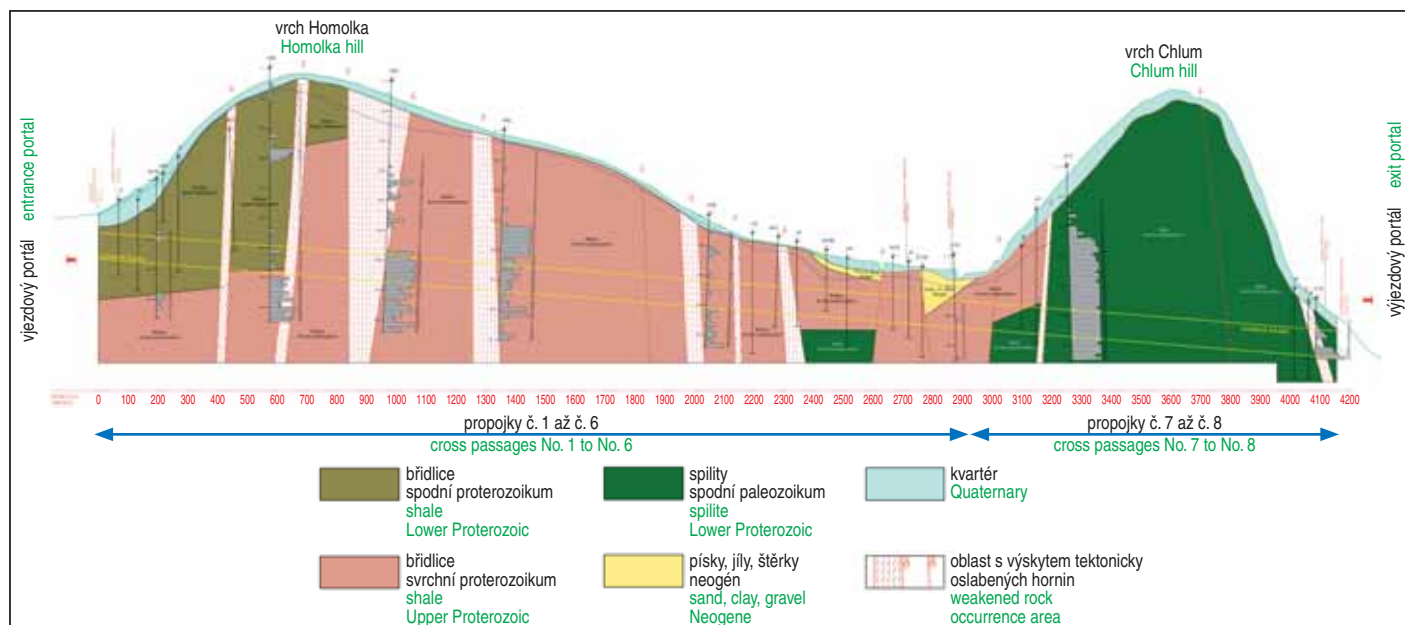
The Ejpovice tunnels are parts of the extensive linear railway construction project named “Modernisation of Rokycany – Plzeň railway line”. The key objective of the project is to achieve the travel time on the route from Prague to Plzeň from the main railway station in Prague to the main railway station in Plzeň and also in the opposite direction shorter than 1 hour. In the Rokycany – Plzeň section itself the train travel time will be reduced by ca 9 minutes (see Fig. 1).

2. PROJECT CHARACTERISTICS

The project owner's designer proposed two 4150m long single-



Obr. 1 Pohled na tunely u vjezdového pražského portálu
Fig. 1 A view of the tunnels at the Prague entrance portal



Obr. 2 Podélný řez tunelu s předpokládanou geologií

Fig. 2 Longitudinal tunnel section with the assumed geology

i polohy podrcených, vodonosných hornin. Proterozoické břidlice byly zastíženy v rozmezí staničení cca km 96,250–98,850. Tyto sedimenty jsou prostoupeny vulkanity, které tvoří významnou terénní elevaci – kopec Chlum. Jedná se o jemnozrnné masivní horniny převážně zelenošedé barvy – spility, které mají kromě svrchních partií obvykle střední až malou hustotou diskontinuit. Spility se vyskytovaly od staničení cca 98,850 do 100,000, tzn. do konce trasy.

Z geologické stavby tunelů je zřejmé, že šest propojek bylo raženo ve složitých geologických podmínkách převážně břidlic s různou velikostí přítoků podzemní vody a dvě propojky ve velmi pevných spilitech bez výrazných přítoků podzemní vody. Na základě těchto příznivých skutečností (s geologií ve spilitech) se investor na návrh zhotovitele přiklonil k realizaci alternativního definitivního osvětlení horní klenby propojky č. 8 ze stříkaného drátkobetonu a stříkané izolace.

3. PRŮBĚH RAŽEB TUNELŮ TECHNOLOGIÍ TBM

Tunelovací stroj pro ražbu Ejpvických tunelů vyrobila specializovaná německá firma Herrenknecht pod sériovým označením S-799. V prostorách její továrny ve městě Schwanau byl stroj kompletně sestaven. Za účasti zástupců zhotovitele byly provedeny provozní zkoušky a po jejich odsouhlasení byl stroj demontován na transportovatelné díly tak, aby byl připraven k převozu do místa vjezdových portálů obou tunelů situovaného nedaleko od obce Kyšice.

Zahájení ražeb tunelovacím strojem však nabralo zpoždění z důvodu rozsáhlého archeologického průzkumu v zářezu v předportáli obou tunelů. Teprve na podzim roku 2014 byl zahájen převoz tunelovacího stroje z výroby. Rozměrné a hmotné díly byly transportovány dopravou lodní, ostatní díly dopravou kamionovou. Spolu s dopravováním dílů probíhala i montáž stroje. Po jejím dokončení bylo nutné tunelovací stroj opětovně podrobit provozním zkouškám, kterými se prokázala jeho připravenost pro zahájení ražeb.

Ražby jižní tunelové trouby (JTT) byly zahájeny na přelomu ledna a února 2015 z vjezdového portálu u obce Kyšice (obr. 1). V prostředí břidlic, tj. pod kopcem Homolka a částečně kopcem Chlum, razil tunelovací stroj v tzv. zeminovém režimu a v prostředí pevných spilitů kopce Chlum v tzv. skalním režimu. Již od počátku ražeb narazili pracovníci na geologické podmínky, které byly

track tunnels with eight cross passages so that the acceleration of the train journey could be possible. The single-track tunnels with the excavated cross-section of ca 10m high were driven using the TBM technique. The cross passages between the tunnel tubes carried out at the spacing of 500m were driven using the NATM. Their length was determined by the distance between the main tunnel centres ranging from 15m to ca 35m. The lining of all cross passages was determined in the design for tendering as a double-shell structure, i.e. a classical primary lining, an intermediate waterproofing membrane layer and permanent RC lining with concrete poured behind formwork.

The geological structure of the area of interest was relatively complicated (see Fig. 2). The oldest unit in this area comprises the Upper Proterozoic rock types, mostly dark shale and, to a smaller extent, light siltstone. In the locations of fault zones, there is rock mass with closely spaced jointing, even layers of crushed water-bearing rock. The Proterozoic shale was encountered between chainages km ca 96.250–98.850. The sediments are interspersed with volcanites, which form a significant terrain elevation – Chlum hill. The encountered rock is of the spilite type, green-grey, finely grained, usually with moderate to wide spacing of discontinuities (with the exception of upper parts). Spilite was encountered between chainage metres 98.850 to 100.000, it means up to the end of the route.

It is obvious from the geological structure of the tunnels that six cross passages were driven through complicated geology, mostly shale with various rates of groundwater inflows, and two cross passages driven through very hard spilite without significant groundwater inflows. Based on the positive facts regarding the geology formed by spilite, the project owner inclined to the realisation of an alternative final lining of the upper vault of cross passage No.8 consisting of steel fibre reinforced shotcrete and a spray-applied waterproofing layer.

3. THE COURSE OF DRIVING THE TUNNELS USING THE TBM TECHNOLOGY

The tunnel boring machine for driving the Ejpvovice tunnels was manufactured by Herrenknecht AG, a specialised German company, under the serial marking S-799. The machine was completely assembled in Herrenknecht factory in the town of

komplikovanější, než jaké předpokládala zadávací dokumentace. Prostředí mělo mnohem vyšší stupeň abrazivnosti, vyznačovalo se vysokými přítoky podzemní vody (v maximech až 28 l/s) a jako celek bylo málo stabilní s vysokou propustností. Všechny tyto skutečnosti způsobovaly zpomalení ražeb oproti předpokladům.

Takové podmínky výrazně komplikují ražby a nutí zhotovitele postupovat s vysokou opatrností, která ve výsledku znamená časová zdržení, oproti původně plánovaným postupům. I přesto, že se podařilo dosáhnout úctyhodných denních (32 m) i měsíčních (526 m) maxim, trvala ražba jižní tunelové trouby celkem 16 měsíců. Je však třeba zmínit, že navzdory časovému zdržení se metoda mechanizovaného tunelování ukázala jako vhodné řešení, neboť v komplikované geologii obstála.

Ražba jižní ejpovické tunelové trouby ukázala zhotoviteli mnohá úskalí, která v sobě horninové prostředí skýtalo. Zhotovitel na ně reagoval již v průběhu ražeb, ovšem v případě technologie mechanizovaného tunelování měl v tomto ohledu možnosti omezené. Není možné provádět příliš změn na již nasazeném tunelovacím stroji, a pokud, tak se nejedná o změny zásadní. Proto napjal své úsilí k přípravě opatření, která mohl realizovat v období mezi ukončením ražby prvního a zahájením ražby druhého tunelu. V tomto období byl stroj demontován, po částech převážen a následně opět montován pro ražbu severní tunelové trouby.

V září roku 2016 se Viktorie vydala zdolávat první metry severní tunelové trouby (STT). Na plné obrátky se v souběhu rozjely i další práce. V jižní tunelové troubě se betonáři starali o pokládku výplňového betonu dna tunelu včetně v něm umístěných trubních vedení. Na výplňový beton se dále betonovala 40 cm silná deska. Po jejím zhotovení bylo přistoupeno k ražbě propojek podle zásad NRTM. Způsob jejich výstavby v nejvyšší možné míře využíval pracovních souběhů. Začalo se od propojky č. 1 (tj. ze směru zahájení ražby severního tunelu), jež se vyrazila, zajistila primárním ostěním ze stříkaného betonu, svorníků, KARI sítí a rámu BTX, provedla se fóliová izolace, armování a betonáž definitivního ostění dna. Tentýž postup následoval i na klenbě propojky. V závěrečné fázi byly takto provedeny i tzv. krčky, tedy přechody konstrukcí propojek na segmentové ostění obou traťových tunelů.

Na ražbě severního tunelu se mezitím zhodnocovala technická řešení a opatření, která zhotovitel navrhl a zrealizoval na základě zkušeností z ražeb jižního tunelu. První skupinou opatření, která zhotovitel provedl pro ražbu severního tunelu, byla ta, jimiž upravoval samotné horninové prostředí. Jelikož první úsek cca 250 m ražeb probíhal v částečně nízkém nadloží s vydatnými přítoky podzemní vody, navíc v prostředí s krátkodobou stabilitou, bylo ve spolupráci s Radou monitoringu rozhodnuto o odvodnění této části horninového prostředí skrz již vyraženou jižní tunelovou troubu a čerpání vody s využitím vrtů doplňkového geotechnického průzkumu na povrchu. Skrze její segmentové ostění byly v pravidelných krocích udělány průvrty, jejichž prostřednictvím byla výrazně snížena hladina podzemní vody. Velké komplikace ražeb způsobovala vysoká abrazivnost prostředí. V jejím důsledku se mnohem rychleji, než se předpokládalo, opotřebovávaly řezné nástroje. Tento fakt nejenže ve svém důsledku způsobuje zpomalení ražeb, ale vyžaduje také mnohem častější zastávky z důvodu nutnosti výměn řezných nástrojů. V prostředí s omezenou stabilitou výrubu je však velmi obtížné nalézt vhodné místo, kde by bylo možné zastavit, vyprázdnit odtěžovací komoru a vstoupit do tohoto prostoru za účelem výměny řezných nástrojů.

Z tohoto důvodu bylo přistoupeno k opatření v podobě zlepšení horninového prostředí v předem naplánovaných místech zastávek pro kontrolu a výměnu řezných nástrojů. Zlepšení se provádělo pomocí monolitických podzemních stěn. Podzemní stěny měly délku

Schwanau. Operational tests were conducted in the presence of contractor's representatives. After approving the test results, the machine was disassembled to transportable parts so that they were prepared for transport to the location of the entrance portals of both tunnels near the municipality of Kyšice.

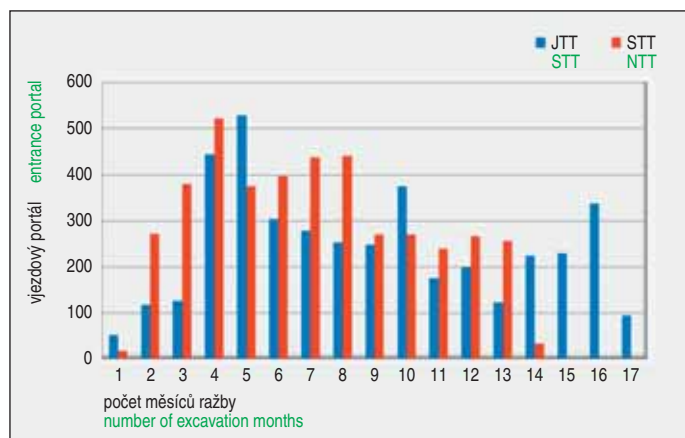
But the commencement of driving the tunnel with the tunnel boring machine was delayed because of an extensive archaeological survey in the cutting in pre-portal areas of both tunnels. The transport of the tunnel boring machine from the factory started as late as autumn 2014. Large and heavy parts were transported by ship and the other components by lorries. Assembling of the machine proceeded simultaneously with the transport of the components. After the completion of the TBM assembly, the machine had to be again submitted to operational tests, which confirmed that it was prepared for the commencement of the tunnel excavation.

Driving the southern tunnel tube (STT) started from the entrance portal near the municipality of Kyšice (see Fig. 1) at the end of January 2015. In the environment formed by shale, i.e. that under Homolka hill and partially under Chlum hill, the tunnel boring machine worked in the earth pressure balance (EPB) mode, whilst the hard rock mode was used in the environment formed by strong spilite under Chlum hill. Since the beginning of the excavation, the workers encountered geological conditions more complicated than assumed by the tender for tendering. The degree of abrasiveness of the environment was much higher and the environment was characterised by high groundwater inflows (with the maximums up to 28L/s). As the whole, the environment was little stable, with high degree of permeability. All of the above-mentioned facts caused reduction of the excavation advance rates in comparison with assumptions.

Such the conditions significantly complicate excavation of tunnels and force contractors to proceed with high caution, which in the result means time delays in comparison with the originally planned excavation advance rates. Even despite the fact that respectable maximum daily (32m) and monthly (526m) advance rates were achieved, the excavation of the southern tunnel tube took 16 months in total. But it is necessary to mention that despite the delay the mechanised tunnelling method turned out to be a suitable solution because it stood the test by the complicated geology.

The excavation of the southern tube of the Ejpvovice tunnel showed many pitfalls the rock environment brought to the contractor. The contractor responded to them already during the course of the excavation, but in the case of mechanised tunnelling, contractor's options in this regard were limited. It is impossible to carry out many changes on the already launched TBM and, if it is possible, the changes are not fundamental. For that reason contractor's employees made an effort to prepare measures they could implement during the period between the completion of the excavation of the first tunnel and commencement of the excavation of the second tunnel. During this period, the machine was disassembled, transported in parts and subsequently again assembled for driving the northern tunnel tube.

In September 2016, Viktorie TBM set out to conquer initial metres of the northern tunnel tube (NTT). Even other operations proceeded in full swing simultaneously. In the southern tunnel tube, concrete workers were taking care of the placement of mass fill concrete on the tunnel bottom, including the embedded pipelines. A 40cm thick slab was subsequently concreted on the top of the mass fill concrete. After its completion the miners proceeded to excavate the cross passages in compliance with the NATM principles. The construction procedure applied working concurrently on several cross passages as much as possible. The excavation started from the



Obr. 3 Měsíční výkony ražeb TBM

Fig. 3 TBM excavation monthly advance rates

15 m, šířku lamely 1,2 m a vždy se prováděly tři v těsné blízkosti za sebou. Podzemní stěny se prováděly do hloubky poloviny profilu řezné hlavy. Díky podzemním stěnám bylo možno v předem připravených místech zastavit ražbu a provést práce na řezné hlavě bez nutnosti jejich provádění v přetlaku vzduchu, který by kvůli vysoké propustnosti prostředí byl velice rizikový s ohledem na bezpečnost práce v důsledku náhlého úniku vzduchu.

Technická vylepšení byla realizována i na samotném tunelovacím stroji. Nejvíce viditelná byla dvojice zařízení, která pomáhala řešit obtížný problém s úpravou břidlicových hornin do požadované konzistence. Prvním zařízením byl firmou Metrostav a.s. vyvinutý automatický systém na přípravu a čerpání homogenního roztoku vody a polymeru. Polymer je látka, která se používá pro vázání vody a to především při jejich vysokých přítocích. Výsledek byl viditelný téměř okamžitě. Projevil se snížením tlaku na výstupu ze šnekového dopravníku a především mnohem lepší těžitelnosti rubaniny.

Druhým instalovaným zařízením byly vysokotlaké vodní trysky osazené na řeznou hlavu a do odtěžovací komory. Skrze trysky bylo možné do míst náchylných k zalepování se aplikovat vodu nejen pod vysokým tlakem, ale i ve velkém množství.

Veškerá opatření v konečném důsledku přispěla k mnohem hladšímu průběhu ražeb druhého tunelu oproti tunelu prvnímu. To se projevilo především na čase, neboť zhotoviteli se podařilo vyrazit severní tunelovou troubu o více než čtyři měsíce dříve než troubu jižní (obr. 3). Zároveň s tím bylo dosaženo rekordního denního výkonu o hodnotě 38 m a měsíčního výkonu 702 m.

Po prorážce severní tunelové trouby bylo třeba tunelovací stroj v co nejkratším možném čase demontovat a odvést. Metrostav a.s. proto provedl odpojení štítové části a její přesun cca 100 m vpřed z prostředí portálové části tunelu. Přesun probíhal tak, že celá 800 tun vážící štítová část byla vyzvednuta na ocelových stojkách ze systému Pižmo (Piliř Železničních MOstů) a posazena na předem připravené betonové pásy. Po nich se posouvala po teflonových deskách, které snižovaly třecí sílu, pomocí hydraulických táhel. Po přesunu štítové části se v prostoru portálu postupně rozebíraly jednotlivé vozíky závěsu stroje.

4. DEFINITIVNÍ OSTĚNÍ ZE STŘÍKANÉHO BETONU S ROZPTÝLENOU VÝZTUŽÍ

Definitivní ostění propojek č. 1 až 7 je navrženo z monolitického železobetonu. Jako alternativní varianta k takto provedenému definitivnímu ostění bylo definitivní ostění propojky č. 8 navrženo a také provedeno ze stříkaného betonu vyztuženého rozptýlenou

top heading of cross passage No. 1 (i.e. viewed from the direction of the commencement of driving, the northern tunnel), which was excavated, supported with primary shotcrete lining, rock bolts, KARI welded mesh and a BRETEX lattice girder. Waterproofing membrane was placed, concrete reinforcement was installed and the final lining of the bottom was concreted. The same procedure was subsequently applied to the invert of the cross passage. The so-called necks, i.e. transitions between the cross passage structures and the segmental lining of both running tunnels, were carried out in the final phase.

The technical solutions and measures designed and realised by the contractor on the basis of experience from the southern tunnel tube, were meanwhile advantageously applied to driving the northern tunnel tube. The first group of measures the contractor implemented to driving the northern tunnel was used for modification of the rock environment. Because of the fact that the initial ca 250m long section of excavation passed under a partially low overburden with substantial groundwater inflows, which formed in addition a short-term stability environment, a decision was made in collaboration with the Monitoring Board that the particular section of the rock environment would be drained through the already excavated southern tunnel tube and by pumping water through boreholes made earlier from the surface for the complementary geotechnical investigation. The water table level was significantly lowered by means of holes which were drilled at regular intervals through the segmental lining. Serious complications were caused to the excavation due to high abrasiveness of the environment. It caused wearing of cutting tools much quicker than expected. This fact not only caused reducing of the excavation advance rates, but also required much more frequent stoppages necessary for replacing the cutting tools. But it was very difficult in the limited-stability environment to find a suitable place where it would be possible to stop, empty the extraction chamber and enter that space with a task to replace the cutting tools.

For that reason the contractor proceeded to apply the measure having the form of improving the ground environment at pre-planned points of breaks required for checking and replacing the cutting tools. The improvement was carried out by means of cast-in-situ diaphragm walls. The diaphragm walls were 15m long and consisted of 1.2m thick lamellae; three walls were always carried out close behind each other. The diaphragm walls were carried out to the depth equal to the half of the cutterhead profile. Thanks to the diaphragm walls it was possible to stop the excavation at pre-prepared points and carry out the work on the cutterhead without necessity for working in compressed air, which would have been very risky taking into consideration the high permeability of the environment with respect to safety at work in case of a sudden leakage of air.

Technical improvements were realised even on the TBM. A pair of appliances helping to solve a difficult problem associated with treating the shale-type rock to achieve required consistency was visible most of all. The first appliance was an automatic system of preparation and pumping of a homogeneous solution of water and polymer, which was developed by Metrostav a.s. Polymer is a matter which is used for binding of water and is applied mainly in the cases of high groundwater inflow rates. The result was visible nearly immediately. It manifested itself by reduced pressure at the outlet from the screw conveyor and, first of all, by much better workability of muck.

The other appliance was formed by high-pressure water jets installed behind the cutterhead and into the extraction chamber. It was possible to apply through the jets not only water under high pressure, but also a large volume of water to places prone to being covered with sticky clay.

výztuži z ocelových vláken (dále v textu jen „stříkaný drátkobeton“).

Navržený stříkaný drátkobeton lze jen obtížně nanášet na fóliovou izolaci. Složitě je dosáhnout dobrou soudržnost stříkaného betonu a relativně pohyblivého podkladu, izolační fólie. Z tohoto důvodu je nutné jako podklad pod definitivní ostění ze stříkaného drátkobetonu použít bezešvou (stříkanou) izolaci, která je pevně spojena s podkladem. Ejpovické tunely (traťové tunely i propojky) jsou navrženy jako zcela uzavřený hydroizolační systém. Pro propojky v málo zvodněném prostředí spilitů pod vrchem Chlum je navržen stejný hydroizolační systém.

Pokud při realizaci/nanášení stříkané (bezešvé) izolace dochází k velkým přítokům vody, je realizace složitá. Projekt definitivního ostění v propojce č. 8 pro tento případ počítal i s možností realizace definitivního ostění podle původního návrhu jako monolitického do bednění s použitím svařované fóliové izolace. Přitoky podzemní vody je nutné sanovat před nanášením stříkané izolace. To je možné svody umístěnými na povrchu výrubu překrytými stříkaným betonem primárního ostění popřípadě zatěsněním horninového masivu injektáží puklin nebo převedením vody přes izolaci a ostění osazením hadiček do míst soustředěných přítoků vody. Hadičky se po dokončení definitivního ostění zainjektují/uzavřou.

4.1 Konstruktivní uspořádání ostění v propojce č. 8

Definitivní ostění propojky č. 8 bylo navrženo následovně: Dno definitivního ostění propojky, včetně krčků, napojujících propojku na ostění hlavního tunelu z drátkobetonových segmentů, bylo navrženo z monolitického betonu v kombinaci s fóliovou svařovanou izolací. Ostění v klenbě propojky bylo navrženo ze stříkaného drátkobetonu s bezešvou stříkanou izolací.

Detail napojení fóliové izolace dna/krčků a stříkané izolace klenby byl navržen přesahem/přestřikáním fóliové izolace a vnějšího spárového pásu umístěného v podélné spáře mezi dnem a klenbou propojky bezešvou izolací. Volný okraj fóliové izolace je přichycen k primárnímu ostění pomocí šroubované ocelové příruby, jejíž vzdálenost od spárového pásu nesmí být z důvodu možného nadměrného odpadávání stříkaného drátkobetonu příliš velká. Vlastní ocelová příruba musí být přichycena relativně hustě tak, aby mezi přírubou a povrchem primárního ostění nevznikaly mezery.

Podklad pod stříkanou izolací byl upraven nanesením zhruba 4 cm silné vrstvy stříkaného betonu s maximálním zrnem kameniva $d_{\max}$ 4 mm. Účelem této vrstvy je zmenšit hrubost povrchu a tím snížit spotřebu materiálu stříkané izolace. Alternativně lze jemnější povrch dosáhnout použitím stříkaného betonu s rychlým počátečním nárůstem pevnosti (pod křivkou J3), anebo nanášením stříkaného betonu podkladní vrstvy z větší vzdálenosti (cca 2 m). Je však třeba zajistit, aby podkladní vrstva byla dostatečně pevná a hutná. V případě pórovité podkladní vrstvy může dojít k migraci podzemní vody touto vrstvou, což není žádoucí.

Nosná část vlastního definitivního ostění ze stříkaného drátkobetonu je navržena s tloušťkou 100 mm. Z povrchu dokončeného definitivního ostění „trčí“ ocelová vlákna. Povrch ostění je nutné ošetřit tak, aby nemohlo dojít k poranění. Norma ČSN EN 14487-2 zakazuje úpravu povrchu stříkaného betonu hlazením. Proto byla navržena a provedena 40 mm silná dodatečná krycí vrstva ze stříkaného betonu bez vláken s pouze ochrannou funkcí.

4.2 Návrh a posouzení definitivního ostění propojky

Návrh a posouzení definitivního ostění propojky z drátkobetonu byly provedeny podle postupu uvedeného v rakouské směrnici Richtlinie Faserbeton (alternativně je možné použít postupu popsaného v německé směrnici DAfStb Stahlfaserbeton 2012). Výpočtový postup uvažující nelineární chování betonu (včetně zohlednění

In the final result all measures contributed to the much smoother course of the excavation of the second tunnel in comparison with the first tunnel. It manifested itself first of all in terms of time because the contractor managed to excavate the northern tunnel tube four months faster than the southern tube (see Fig. 3). At the same time the record daily and monthly advance rates of 38m and 702m, respectively, were achieved.

It was necessary after the northern tunnel tube breakthrough to disassemble and remove the TBM at as short time as possible. For that reason Metrostav a. s. disconnected the part with the shield and shifted it ca 100m ahead from the portal part of the tunnel. The process of shifting the TBM proceeded by lifting the 800 tonne shield to steel props (parts of the PIŽMO bridge pier assembly system) and was set on pre-prepared concrete plinths. It was shifted along the plinths on teflon plates, reducing the friction force, by means of hydraulic tie rods. After the shield shifting operation, individual carriages of the back-up train were step-by-step dismantled in the portal area.

4. FINAL LINING FROM STEEL FIBRE REINFORCED SHOTCRETE

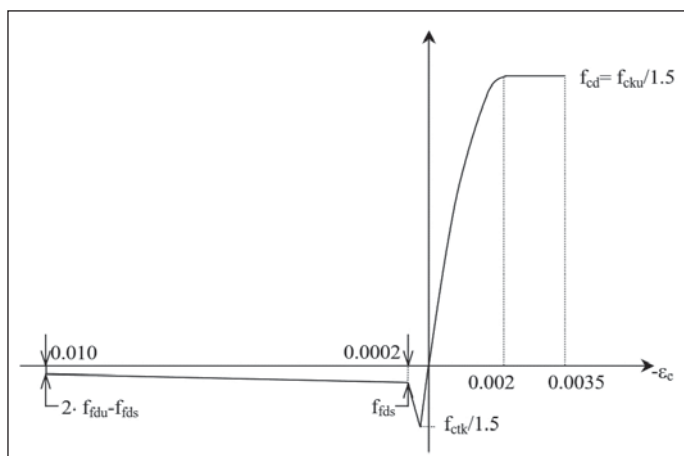
Cast-in-situ reinforced concrete was designed for the final lining of cross passages No. 1 through to 7. Shotcrete reinforced with steel fibres (herein after mentioned as steel fibre reinforced shotcrete) was designed and applied to cross passage No. 8 as an alternative to the final lining carried out in the above-mentioned way.

It is difficult to apply steel fibre reinforced shotcrete to a plastic waterproofing membrane. The difficulty lies in achieving good bonding of shotcrete with the relatively movable substrate, the plastic waterproofing membrane. For that reason it is necessary to use a seamless (spray applied) waterproofing membrane firmly connected with the substrate for steel fibre reinforced shotcrete. The Ejpvovice tunnels (running tunnels and cross passages) are designed as a fully enclosed waterproofing system. Identical system is designed for cross passages in the water-bearing environment formed under Chlum hill by spilitě.

When large water inflows are encountered during the course of applying the seamless waterproofing layer, the application is difficult. In such a case, the design for the final lining in cross passage No. 8 counted with the possibility of the realisation of the final lining according to the original proposal, with a welded plastic waterproofing membrane and in-situ casting of concrete behind a formwork. Groundwater leaks have to be removed before the installation of the spray-applied waterproofing membrane. The leaks can be removed by water collecting pipes installed on the surface of the excavation and covered with shotcrete forming the primary lining, or by sealing the rock mass by grouting into fissures, or by transferring water through the waterproofing membrane and lining by installing small diameter hoses to the locations of concentrated water inflows. The hoses are filled with grout/closed after completion of the final lining.

4.1 Structural arrangement of lining in cross passage No. 8

The final lining of cross passage No. 8 was designed as follows: Cast-in-situ concrete combined with welded plastic waterproofing membrane was designed for the bottom of the cross passage lining, including the necks connecting the cross passage to the lining of the main tunnel formed by steel fibre reinforced concrete segments. Steel fibre reinforced shotcrete and the seamless spray-applied waterproofing membrane was designed for the lining of the cross passage upper vault.



Obr. 4 Materiálový model pro drátkobeton dle Richtlinie Faserbeton

Fig. 4 Material model for steel fibre reinforced concrete according to the Richtlinie Faserbeton

tahové pevnosti betonu) je v souladu s platnou normou pro návrh betonových konstrukcí viz ČSN EN 1992-1-1 kapitola 5.7 Nelineární analýza.

Směrnice Richtlinie Faserbeton předepisuje provedení výpočtů pro mezní stav únosnosti (dále jen MSÚ) a mezní stav použitelnosti (dále jen MSP) s rozdílnou definicí materiálového modelu vláknobetonu. Materiálový model pro výpočty MSÚ je založen na pevnostních parametrech odpovídajících návrhovým hodnotám pevnosti vláknobetonu (obr. 4), tj. charakteristickým pevnostem redukovaným příslušnými součiniteli spolehlivosti. Tento model je v důsledku redukce pevností „měkčí“ (příslušná poměrná přetvoření nejsou modifikována), což vede k nadhodnocení deformací. Výpočtový model pro výpočty MSP je založen na charakteristických pevnostech vláknobetonu.

4.3 Průkazní zkouška stříkaného betonu s rozptýlenou výztuží

Na základě výsledků výpočtů a se zohledněním možností dodání betonu na stavbu byl pro definitivní ostění navržen stříkaný beton SB30 (C25/30XA1, XC1) $d_{\max}$ 8, typ III, obor nárůstu pevnosti J1 vyztužený rozptýlenou výztuží z ocelových vláken Dramix 3D 55/35BG v množství 40 kg/m³ záměsi.

Před provedením ostění bylo třeba ověřit splnění výpočtových předpokladů, zejména tahové pevnosti. Pro ověření byly provedeny průkazní zkoušky navržené směsí.

Detailní receptura byla navržena a drátkobeton byl připraven v betonárce TBG Plzeň Transportbeton. Vlastní nástřik vzorků byl proveden v prostředí propojky č. 6. Prostor propojky byl použit, aby prostředí, ve kterém byly vzorky provedeny, co nejvíc odpovídalo skutečnému místu použití. Nástřikované vzorky byly ponechány v propojce. Zde z nich byly po 28 dnech připraveny vzorky pro požadované zkoušky.

Výsledky provedených zkoušek byly vyhodnoceny podle Richtlinie Faserbeton. Zjištěné pevnosti v tahu za ohybu po vzniku trhliny odpovídají pevnostním třídám T4 a G5.

Statickým výpočtem byla požadována pevnost v tahu za ohybu po vzniku trhlin odpovídající třídám T1/G1. Pevnosti zjištěné zkouškami tento požadavek dalece překračují, a tak bylo možné navržený drátkobeton použít pro definitivní ostění propojky č. 8.

5 REALIZACE STŘÍKANÉHO DRÁTKOBETONU

Po provedení stříkané izolace (obr. 5) a následné technologické pauze byla zahájena realizace stříkaného betonu horní klenby v propojce č. 8 za nižších teplot v tunelu (realizace na začátku března).

The design of the detail of the interconnection between the plastic waterproofing membrane on the bottom or the necks and the waterproofing membrane sprayed on the vault prescribed overlapping of the plastic membrane and an external waterbar installed on the longitudinal joint between the bottom and vault of the cross passage and covering it with the seamless spray-applied waterproofing membrane. The loose end of the plastic membrane is attached to the primary lining by means of a bolted steel flange, the distance of which from the waterbar was not allowed to be too great with respect to the possible excessive falling of steel fibre reinforce shotcrete off. The steel flange itself has to be fixed relatively densely so that no gaps originate between the flange and the surface of the primary lining.

The substrate under the spray-applied waterproofing membrane was covered with an approximately 4cm thick layer of shotcrete with the maximum aggregate grain size $d_{\max}$ of 4mm. The purpose of this layer is reducing the coarseness of the surface, thus reducing the consumption of the spray-applied waterproofing material in this way. As an alternative, finer surface can be achieved by using shotcrete with rapid development of initial strength (under the J3 curve) or by applying the shotcrete sub-base layer from a greater distance (ca 2m). It is, however, necessary to ensure that the sub-base is sufficiently strong and compact. In the case of a porous sub-base, groundwater may migrate through this layer, which is not desirable.

The design thickness of the load-carrying part of the final steel fibre reinforced shotcrete lining itself is set at 100mm. Steel wires protrude from the completed final lining surface. The surface of the lining has to be treated so that no injury can be suffered. The ČSN EN 14487-2 standard forbids treating of shotcrete surface by smoothing. For that reason a 40mm thick additional cover layer made of shotcrete without fibres, having only a protective function, was designed.

4.2 Design and assessment of cross passage final lining

The design and assessment of the final steel fibre reinforced concrete lining of a cross passage were conducted in compliance with the procedure contained in the Austrian directive Richtlinie Faserbeton (the procedure described in the German directive DAfStb Stahlfaserbeton 2012 can be used as an alternative). The calculation procedure taking into consideration the nonlinear behaviour of concrete (including taking tensile strength into account) is in line with the standard valid for designing concrete structures, see ČSN EN 1992-1-1 chapter 5.7 Nonlinear analysis.

The Richtlinie Faserbeton Directive prescribes conducting calculations for the ultimate limit state and the serviceability limit state with a different definition of the material model of fibre reinforced concrete. The material model for the ultimate limit state is based on strength-related parameters corresponding to design values of fibre reinforced concrete strength (see Fig. 4), i.e. characteristic strengths reduced by the respective confidence coefficients. This model is “softer” as a result of the reduction of strength (the respective relative deformations are not modified), which fact leads to overestimation of deformations. The calculation model for the serviceability limit state is based on characteristic strengths of fibre reinforced concrete.

4.3 Preconstruction test of fibre reinforced shotcrete

SC30 (C25/30XA1, XC1), $d_{\max}$ 8, type III, J1 early strength class shotcrete reinforced with 40kg of Dramix 3D 55/35BG steel fibres per m³ of the mixture was designed for the final lining on the basis of calculation results, with the possibilities of supplying concrete to the construction site taken into account.



Obr. 5 Realizace stříkané izolace

Fig. 5 Application of spray-on waterproofing

Z tohoto důvodu byla propojka zateplena pomocí geotextilie a byla dva dny vyhřívána. Podklad měl před stříkáním 15 °C. Pro samotný nástřik byl použitý stroj Meyco potenza.

Pro kontrolu vrstvy nástřiku bylo navrženo do krčků osm lanek o průměru 5 mm. Ty byly napnuty pomocí anglických spojek. Před stříkáním se provedlo prvotní měření odměřů ve stanoveném rasteru, tyto údaje byly zaznamenávány do odsouhlaseného protokolu. Pro ochranu před stříkaným betonem byly zakryty krčky u severního i jižního tunelu. Dále byla na podlahu propojky natažena plachta na ukládání spadu.

V průběhu stříkání definitivního ostění propojky (obr. 6) byly nástřikány vzorky pro kontrolní zkoušky. Stříkání první vrstvy proběhlo nadvakrát. Po prvním nástřiku proběhlo kontrolní měření odměřů pomocí plošiny. Měření se zároveň provádělo při každém pojetí Meyca v místech, kam se dosáhlo. Zároveň bylo prováděno čištění spadu z boků propojky. Po druhém nástřiku bylo provedeno kontrolní měření odměřů, aby bylo zajištěno, že vrstva definitivního ostění splňuje projektem stanovenou tloušťku 10 cm.

Druhá vrstva se prováděla druhý den. Stříkání proběhlo také nadvakrát. Po prvním nástřiku bylo provedeno měření odměřů a kontrola povrchu betonu. Zároveň se během stříkání dostříkávala místa, kde byly větší nadvýlomy, aby bylo docíleno co nejlepší rovinnosti povrchu ostění.



Obr. 6 Realizace stříkaného drátkobetonu

Fig. 6 Application of steel fibre reinforced shotcrete

It was necessary to verify before concreting the lining whether the calculation assumptions, first of all the tensile strength, were met. Preconstruction tests of the designed mixture were conducted for verification purposes.

The detailed formula was designed and the fibre reinforced concrete was prepared in the TBG Plzeň Transportbeton concrete batching plant. The concrete samples were sprayed in the environment formed by cross passage No. 6. The space of the cross passage was used with the objective to use an environment for conducting the tests most of all corresponding to the actual location of the use. The once applied shotcrete specimens were left in the cross passage. Specimens for the required tests were prepared after 28 days.

The results of the tests were assessed in line with the Richtlinie Faserbeton directive. The flexural tensile strength values determined by the tests correspond to the strength classes T4 and G5.

The structural analysis required that the flexural tensile strengths after cracking corresponded to classes T1/G1. The strengths determined by the tests highly exceed this requirement, so it was possible to use the designed steel fibre reinforced concrete for the final lining of cross passage No. 8.

5. REALISATION OF STEEL FIBRE REINFORCED SHOTCRETE

After completion of the spray-applied waterproofing membrane (see Fig. 5) and the subsequent technology break, the application of shotcrete to the upper vault commenced in cross passage No. 8 at the lower temperatures existing in the tunnel (realisation at the beginning of March). For that reason the cross passage was thermally insulated with geotextile and was heated for two days. The temperature of the substrate before spraying amounted to 15 degrees Celsius. Meyco Potenza spraying rig was used for the shotcrete application.

Eight holes for 5mm-diameter steel cables were drilled into the necks for the purpose of checking on the spray-on layer. The cables were tightened by means of turnbuckles. The initial gauging of the contour was carried out at a designed grid, before spraying of concrete. The measured data was recorded in an approved protocol. The necks in the northern and southern tunnel tubes were covered to be protected from shotcrete. A tarpaulin for depositing the shotcrete rebound was in addition placed on the cross passage bottom.

Shotcrete samples for check tests were prepared during the application of shotcrete for the cross passage final lining (see Fig. 6). The first layer was sprayed in two steps. After the first step, the check gauging of the contour was conducted using a hoisting platform. Gauging was at the same time conducted at reachable points after each shifting of the Meyco machine. At the same time the rebound was cleared from the sides of the cross passage bottom. Check gauging of the tunnel contour was conducted after the application of the second shotcrete layer with the objective to ensure that the final lining shotcrete layer fulfilled the design requirement for the thickness of 10cm.

The second layer was carried out the next day. Shotcrete was also applied in two steps. Contour gauging and checking on the concrete surface was carried out after the completion of the first layer. At the same time shotcrete was added during the shotcrete application to the places where there were larger overbreaks so that the best flatness of the lining surface was achieved.

After the completion of the application of shotcrete, the rebound was cleared from the cross passage bottom, the final gauging of the cross passage contour was carried out and the lining was regularly

Po ukončení stříkání se dno propojky vyčistilo od spadu, provedlo se finální měření odměřů a ostění bylo následně pravidelně zvlhčováno a samotná propojka z důvodu nízkých venkovních teplot byla vyhřívána.

Z průběhu realizace stříkaného drátkobetonu pro definitivní ostění bylo zjištěno několik doporučení pro používání tohoto typu ostění:

- Vzorke pro kontrolní zkoušky je vhodné odebírat ze samostatného autodomíchávače, protože dochází k prodlevě stříkání samotného ostění.
- Přímou na stříkanou izolaci je zapotřebí nejdříve nastříkat menší vrstvu betonu bez drátků (prostého betonu), která umožní snadnější „uložení“ drátků při nástřiku vrstvy drátkobetonu definitivního ostění. Stříkání na izolaci bylo při prvním stříkání neefektivní a byl velký spád drátků a kameniva z betonu.
- Na delší úseky se použije stříkací stroj s počítačovou kontrolou profilu (např. MEYCO Logica). Systém umožňuje operátorům trysky pomocí skenování povrchu kontrolovat tloušťku nastříkané vrstvy.

6. ZÁVĚR

Ražby Ejpvických tunelů pomocí technologie TBM splnily očekávání a i přesto, že horninová prostředí pod vrchy Homolka a Chlum vykazovala různá překvapení, tak první použití této technologie v České republice při budování železničních tunelů se osvědčilo a v případě připravovaných dlouhých tunelů se s touto technologií musí počítat.

Definitivní ostění ze stříkaného betonu vyztuženého rozptýlenou výztuží je na zahraničních tunelových stavbách stále častěji používané řešení. Realizací definitivního ostění ze stříkaného betonu propojky č. 8 tunelu Ejpvovice se česká tunelářská komunita přiblíží k vyspělým tunelářským zemím, kde je tato moderní technologie již rozšířená a běžně používána.

Autoři věří, že úspěšná realizace, byť rozsahem malého díla otevře dveře pro použití této technologie i na dalších tunelových projektech.

VÁCLAV ANDĚL, vaclav.andel@metrostav.cz,
Ing. PETR SVOBODA, petr.svoboda@metrostav.cz,
Ing. PETR HYBSKÝ, petr.hybsky@metrostav.cz,
Ing. ŠTEFAN IVOR, stefan.ivor@metrostav.cz,
Metrostav a.s.

Recenzoval **Reviewed:** Ing. Tomáš Ebermann, Ph.D.

moisturised. The cross passage itself was heated with respect to low ambient temperatures.

Several recommendations for using this type of lining followed from the course of the use of steel fibre reinforced shotcrete for the final lining:

- It is reasonable to collect specimens for checking tests from a separate readymix truck because of the fact that a delay originates in the process of spraying the shotcrete.
- It is necessary first to apply a thinner layer of concrete without steel fibres (unreinforced concrete) directly on the spray-applied waterproofing membrane. It will allow for easier “placement” of steel fibres when the final steel fibre reinforced shotcrete lining layer is being applied. The application of shotcrete to the waterproofing membrane during the first spraying step was ineffective and the rate of the rebound of the steel fibres and aggregate from concrete was high.
- A spraying machine equipped with computer-controlled checking on the profile is used for longer sections (e.g. MEYCO Logica). The system allows the operators to check the thickness of the applied shotcrete layer by means of scanning of the surface.

6. CONCLUSION

The excavation of the Ejpvovice tunnels using the TBM technology met expectations, and even despite the fact that the rock environments under Homolka and Chlum hills exhibited various surprises, the first use of this technology in the Czech Republic for construction of railway tunnels has proven itself and, in the case of the long tunnels under preparation, it is necessary to take this technology into account.

The final fibre reinforced shotcrete lining is an increasingly frequently used solution at foreign tunnel construction projects. By realising the final shotcrete lining of cross passage No. 8 of the Ejpvovice tunnel, the Czech tunnel construction community will be brought closer to advanced tunnel construction countries, where this modern technology has already been widely spread and commonly used.

The authors believe that the successful realisation of the project, even though small in terms of the scope, will slightly open the door for the use of this technology even at other tunnel construction projects.

VÁCLAV ANDĚL, vaclav.andel@metrostav.cz,
Ing. PETR SVOBODA, petr.svoboda@metrostav.cz,
Ing. PETR HYBSKÝ, petr.hybsky@metrostav.cz,
Ing. ŠTEFAN IVOR, stefan.ivor@metrostav.cz,
Metrostav a.s.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, prosinec 2006
- [2] Richtlinie Faserbeton, Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik, Juli 2008
- [3] ČSN EN 14889-1 Vlákná do betonu – Část 1: Ocelová vlákna – Definice, specifikace a shoda, červen 2007
- [4] ČSN EN 14487-2 Stříkaný beton – Část 2: Provádění, červenec 2007
- [5] ČSN EN 14488-3 Zkoušení stříkaného betonu – Část 3: Ohybová únosnost (při vzniku trhliny, mezní a zbytková) vláknobetonových trémových zkušebních těles, prosinec 2006
- [6] ITAtech Design Guidance For Spray Applied Waterproofing Membranes, ITAtech Activity Group Lining and Waterproofing, April 2013
- [7] EBERMANN, T., HORT, O., HUBINGER, L., OBERHELOVÁ, J., VIŽDA, P. Tunely Ejpvovice – geotechnický monitoring. *Tunel*, 2017, č. 1, s. 12, ISSN 1211-0728
- [8] IVOR, Š., HYBSKÝ, P., SÝKORA, L., ANDĚL, V. Tunely Ejpvovice, ražba jižní tunelové trouby, přesun a úpravy stroje pro ražbu severní tunelové trouby. *Tunel*, 2017, č. 2, s. 26, ISSN 1211-0728

TRAŤOVÉ TUNELY METRA A STANICE ESPOONLAHTI, FINSKO

UNDERGROUND RAILWAY TUNNELS AND STATION OF ESPOONLAHTI, FINLAND

ALEŠ GOTHARD, PAVEL HERMAN

ABSTRAKT

Příspěvek obecně popisuje jeden z největších, v současnosti realizovaných, infrastrukturních projektů v Evropě. Jedná se o prodloužení stávající trasy metra z Helsinek do sousedního města Espoo ve Finsku. Detailní zaměření příspěvku se týká jedné z jeho částí, úseku ražené stanice Espoonlahti a k ní příslušející části traťových tunelů metra, které v období 2016–2018 realizovala společnost Metrostav a.s. ve spolupráci se svým finským partnerem, společností Destia Oy. Zaměřuje se na specifika provádění ražeb v žulových horninách v husté rezidenční zástavbě a z toho vyplývající nutnosti limitace účinků trhacích prací na okolní zástavbu. Dále řeší problematiku provádění předstihových a následných injektážních prací, které byly projektem vyžadovány ve velké míře. Obecně popisuje použitou metodu ražby Drill and Blast a k ní odpovídající použitou strojní sestavu. Součástí příspěvku je také vyjmenování nejzásadnějších problémů zastižených během provádění prací s popisem jejich řešení.

ABSTRACT

The paper describes one of the largest infrastructural projects currently under construction in Europe. It is the extension of the existing metro line from Helsinki to the neighbouring city of Espoo in Finland. The detailed focus of the paper relates to one of project's lots, which is the mined station of Espoonlahti and related metro tunnels, which was built by Metrostav a.s. in cooperation with its Finnish partner Destia Oy during 2016–2018. It focuses on the specifics of excavation in granite rocks in a dense residential area and the consequent necessity of limiting the effects of blasting works on the surrounding buildings. It also deals with the implementation of pre-grouting and post-grouting works, which were required to a large extent by the design. In general, it describes the also used Drill and Blast tunnelling method and the corresponding tunnelling machinery. Part of the contribution is also the list of the most essential problems encountered during the work performance with the description of their solutions.

1. ÚVOD

Finsko a jeho ekonomika

Finsko je severská země sousedící na souši s Ruskem, Švédskem a Norskem. Na území Finska s rozlohou přes 338 tisíc km² žije asi 5,4 milionu obyvatel, přičemž průměrná hustota zalidnění je nevelká – 16,04 obyvatel/km² (v ČR je to 133 obyvatel/km²). Finsko je nazýváno „zemí lesů a tisíců jezer“, kdy lesy pokrývají asi 25 % jeho území a vodstvo dalších zhruba 10 %. Více než 62 % obyvatel žije dnes ve městech. V aglomeraci hlavního města Helsinek žije okolo 1 milionu obyvatel.

Finská ekonomika se pod tlakem série domácích a externích faktorů zatím nevrátila na úroveň předkrizového roku 2008. Po třech letech recese se však hrubý domácí produkt Finska v roce 2015 poprvé zvětšil (o 0,3 %) a v letech 2016 a 2017 pokračoval v dalším růstu (1,4, resp. 2,9 %). Finská ekonomika se musela vyrovnat s několika překážkami dalšího hospodářského růstu, jako pokles produktivity práce, nedostatek investic a snížení kupní síly. Také finský vývoz klesl od počátku mezinárodní finanční krize zhruba o pětinu. Hospodářstvím otlásl především krize v papírenském průmyslu a postupný úpadek společnosti Nokia. Ten skončil prodejem divize mobilních telefonů. Negativně se na finském hospodářství projevila také recese v Rusku. Veřejné finance vykazovaly až do roku 2016 deficit a celkový vládní dluh stále narůstá. S HDP na obyvatele 34,5 tisíce EUR ale i tak Finsko stále převyšuje o 10 % průměr EU.

Stavební průmysl se v roce 2018 podílel na tvorbě HDP 5,5 %. Ve stavebnictví pracuje zhruba 60 tis. zaměstnanců. Ve Finsku působí několik velkých mezinárodních stavebních firem, mezi které patří Lemminkäinen, Skanska, YIT nebo SRV.

1. INTRODUCTION

Finland and its economy

Finland is a Nordic country adjoining in land with Russia, Sweden and Norway. There are about 5.4 million inhabitants in the territory of Finland with an area of more than 338 thousand km², with a rather low average population density of 16.04 inhabitants / km² (133 inhabitants / km² in the Czech Republic). Finland is called a “land of forests and thousands lakes,” where forests cover about 25% of its territory, and water more than 10%. Over 62% of the population lives today in cities. Around 1 million inhabitants live in the agglomeration of the Helsinki capital.

The Finnish economy has not returned yet to the pre-crisis level since 2008. After three years of recession, however, Gross Domestic Product of Finland grew for the first time (by 0.3%) in 2015 and continued to grow in 2016 and 2017 (1.4 and 2.9% respectively). The Finnish economy has had to cope with several barriers to further economic growth, such as a fall in labour productivity, a lack of investment and a reduction in purchasing power. Also, Finnish exports have fallen by about a fifth from the beginning of the international financial crisis. The economy was particularly shaken by the crisis in the pulp and paper industry and gradual decline of Nokia company. This ended with the sale of the mobile phone division. The recession in Russia also negatively affected the Finnish economy. Public finance showed a deficit until 2016, and the total government debt is on a rise. With a GDP per capita of € 34.5 thousand, Finland still exceeds the EU average by 10%.

The construction industry contributed of 5.5% to GDP in 2018. About 60 thousands employees work in the construction industry. There are several large international construction companies in Finland, such as Lemminkäinen, Skanska, YIT or SRV.



Obr. 1 Trasa projektu Länsimetro

Fig. 1 *Länsimetro project line*

2. ÚČEL A SPECIFIKA PROJEKTU

Finsko je i přes svůj relativně plochý reliéf země protkanou mnoha tunelovými stavbami. Vodní tunel Päijänne je dokonce druhým nejdelším tunelem na světě s délkou přesahující 120 km. Pitnou vodou, ze stejnojmenného jezera, zásobuje celou aglomeraci Helsinek. Jeho výstavba probíhala v letech 1972–1982. Dalším významným projektem stojícím za zmínku je v roce 2015 dokončená Kehärata, jedná se o tunelový železniční obchvat Helsinek s celkovou délkou přes 18 km. Dokončení projektu se zdrželo o téměř tři roky vzhledem k nutnosti přeprojektovat část trasy vedoucí pod

2. PURPOSE AND SPECIFICS OF THE PROJECT

Finland is despite its relatively flat relief a land with many tunnel structures. The Päijänne water tunnel is even the second longest tunnel in the world with a length of more than 120km. Drinking water from a lake of the same name supplies the whole agglomeration of Helsinki area. Construction period lasted from 1972 to 1982. Another major project worth mentioning is a Kehärata project completed in 2015. It is a railway tunnel bypass around Helsinki with a total length over 18km. Completion of the project was delayed for almost three years due to the need



Obr. 2 Rezidenční čtvrť Espoonlahti

Fig. 2 Urban area of Espoonlahti

mezinárodním letišťem. V místech pod letištní plochou bylo zastiženo množství kyseliny produkované bakteriemi rozkládajícími propylenglykol, základ odmrázovacích prostředků. Ty se aplikují jako odmrázovače na letadla v zimní období.

Länsimetro (v překladu: „západní metro“) je projekt prodloužení jediné stávající trasy helsinského metra do sousedního města Espoo (obr. 1). Espoo je druhé nejlidnatější město ve Finsku a jeho stávající dopravní spojení s Helsinkami autobusovou dopravou je kapacitně nedostačující a lidé cestující mezi Helsinkami a Espoo čelí každodenním dopravním zácpám. Rozšiřování hlavních komunikací vedlo pouze k posunutí dopravních zácp blíže k centru Helsinek (tzv. Down-Thomsonův paradox). V první fázi nový úsek linky navázal na původní konečnou stanici Ruoholahti a vede směrem na západ přes ostrov Lauttasaari, dále k univerzitě Aalto, až do rezidenční čtvrti Matinkylä. Celá trasa první fáze Länsimetra vede v podzemí v délce 13,5 km. Během realizace první fáze bylo rozhodnuto o navazujícím pokračování výstavby druhou fází projektu. Díky tomu, že projekt nebude přerušen, bylo podle studií ušetřeno zhruba 130 mil. EUR. Také druhá fáze povede pouze v podzemí a přidá dalších 7 km linky metra. Celkově bude zbudováno 13 nových stanic a 23 vertikálních šachet sloužících k vyrovnávání tlaku mezi traťovými tunely a jako nouzové východy. Stavební práce na první fázi projektu byly zahájeny v roce 2009. První etapa v celé délce byla uvedena do provozu na podzim 2017. V té době už nicméně probíhaly ražby na druhé fázi projektu s předpokladem uvedení do provozu nejdříve v roce 2020. Celkové náklady jsou z kalkulovány na 1,9 mld. EUR a financování je zajištěno z části přímo ze státního rozpočtu (30 %) a dále z rozpočtů měst Helsinky a Espoo.

Metrostav a.s. se ve sdružení s finskou společností Destia Oy podílel už na výstavbě dvou dílčích částí první fáze projektu v letech 2010–2013 (bližší informace v předchozích číslech 3/2011 a 1/2013). První zakázkou byla ražba tří přístupových tunelů v celkové délce 1,2 km. Další zakázkou byla ražba 1,5 km dlouhého úseku dvou jednokolejných traťových tunelů metra, vedoucí z části pod mořem a z části pod komplexem bývalého finského výrobce mobilních telefonů Nokia.

V druhé fázi projektu uspěl Metrostav a.s. ve výběrovém řízení na ražbu jednoho úseku traťových tunelů a stanice metra Espoonlahti. Tato zakázka byla realizována ve sdružení se stejným partnerem, finskou společností Destia Oy. Smlouvu na tuto zakázku podepsali zástupci klienta a zhotovitele v dubnu 2016 a vlastní práce

for redesigning a part of the route under the international airport. Below the international airport a significant amount of an acid was found which was produced by a bacteria degrading propylene glycol, the basic compound of “de-icing agent”. It is applied as an aircraft antifreeze in winter seasons.

Länsimetro (in translation: “Western Metro”) is a project to extend the only existing Helsinki subway line to the neighbouring city of Espoo (see Fig. 1). Espoo is the second most populated city in Finland, and its existing transport links with Helsinki by buses are insufficient and people commuting between Helsinki and Espoo face traffic jams daily. The expansion of the main roads has only led to shifting the traffic jams closer to the Helsinki centre (the so-called Down-Thomson paradox). In the first phase, the new part of the line continues from the former terminus station called Ruoholahti and leads westward across the island of Lauttasaari, further to Aalto University terminating in the Matinkylä residential area. The first phase of the Länsimetro project consists of 13.5km of tunnels. During the construction period of the first phase, it was decided to continue with the second phase of the project. Based on a research, around 130 millions EUR were saved by carrying out the second phase of the project without interruption. Another 7km will be added in the second phase which, as well as the first phase, consists only of underground structures. Altogether, 13 new stations and 23 vertical shafts will be built to serve as pressure equalisation between tunnel tubes and as emergency exits. The construction works for the first phase of the project started in 2009. The first phase of the whole project was opened in autumn 2017. Meanwhile excavations were carried out at the second stage of the project, with the assumption of opening not earlier than in 2020. The total costs are calculated to 1.9 billion EUR and funding is provided partly from the state budget (30%) and from the Helsinki and Espoo budgets.

Metrostav a.s. in association with the Finnish company Destia Oy, was already involved in the construction of two sub-parts of the first phase of the project in 2010–2013 (for more information read a paper published in issues 3/2011 and 1/2013). The first contract was for excavation of three access tunnels with a total length of 1.2km. Another project was for excavation of two railway tunnels, each 1.5km long, being partly under the sea and partly below the former mobile phone manufacturer headquarters of Nokia.

In the second phase of the project, Metrostav a.s. succeeded in a tender for an excavation of one section of railway tunnels and metro station Espoonlahti. This contract was carried out in

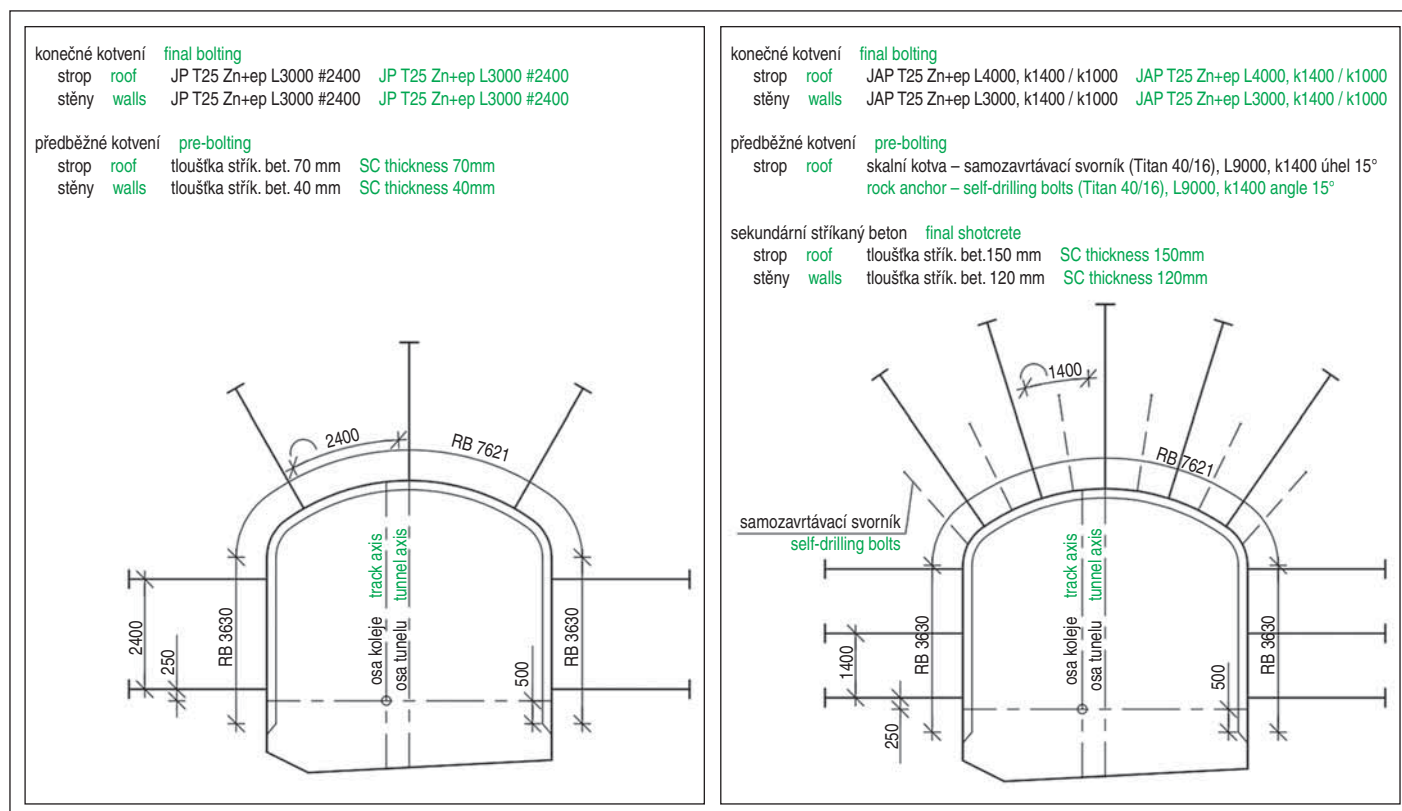


červeně – polygony značící poruchové zóny
red – traverses indicating weakness zones

zeleně – nesystematické injektáže (prováděné na základě výsledku Lugeon testu)
green – non-systematic grouting (based on Lugeon test)

fialově – systematické injektáže
violet – systemgrouting

Obr. 3 Injektáže a poruchové zóny v trase projektu
Fig. 3 Layout of grouting and break zones over the project



Obr. 4 Nejlehčí a nejtěžší technologická třída výrubu v profilu traťového tunelu
Fig. 4 Reinforcement design for good and poor geological conditions

byly zahájeny o měsíc později. Dokončené dílo bylo investorovi předáno s cca 10měsíčním zpožděním, na začátku listopadu 2018. Hlavním důvodem tohoto zpoždění byly horší geologické podmínky, než bylo projektem předpokládáno. Zastížené geologické poměry zpomalovaly postupy ražeb nutností okamžitého zajištění výrubu v mnoha úsecích a potřebě vytěsnění pronikající vody předstihovými injektážemi. Dalším důvodem zpoždění byla komplikovaná jednání investora se zástupci třetích stran, převážně s majitelem obchodního centra, pod jehož základy byla ražena nová stanice metra. Na podzim roku 2017 investor na základě domluvy s tímto majitelem rozhodl o významné změně projektu. Stanice se na základě této změny neměla realizovat jako ražená, ale jako hloubená s předpokladem, že se obchodní centrum nad ní zbourá a následně vybuduje zcela nové s využitím prostoru mezi vlastní stanicí a obchodním centrem pro budoucí parkovací a obchodní prostory. Před koncem roku ovšem na základě dalších jednání se zástupci majitele obchodního centra bylo toto rozhodnutí vzato zpět. V tu chvíli ale už byly ražby na vlastní stanici zpožděny o necelé čtyři měsíce a tuto časovou ztrátu už se během projektu nepodařilo dohnat.

Dělení prací mezi partnery ve sdružení bylo velmi podobné jako při realizaci předchozích dvou zakázek. Metrostav a.s. zajišťoval horizontální ražby tunelů včetně jejich vyztužení svorníky stříkaným betonem a konsolidování skalního masivu injektážemi. Destia Oy zabezpečila zbudování zařízení staveniště, odvozy rubaniny a ražbu vstupů do stanice a větracích šachet.

Městská část Espoonlahti je rezidenční oblastí s 16 tis. obyvateli a veškerou občanskou vybaveností (obr. 2). Ražby budou prováděny pod nebo velmi blízko několika škol, zdravotnických zařízení a sportovních středisek. Z předem zpracované rizikové analýzy bylo zřejmé, že ražby budou ovlivněny maximálními přípustnými limity seismického zatížení vlivem trhacích prací na okolní zástavbu. Vibrace z trhacích prací jsou skalním podložím přenášeny do

association with the same partner, the Finnish company Destia Oy. The contract for this project was signed by representatives of the client and the contractor in April 2016 and the works were commenced one month later. At the beginning of November 2018 the completed work was handed over to the client with about 10 months delay. The main reason for this delay was worse geological conditions than assumed in design documentation. Concerned geological conditions have slowed down the excavation works due to the need for immediate reinforcing the excavated tunnel in many places and the need for displacing water inflows by pre-injection grouting. Another reason for the delay was the complicated negotiations between the client and representatives of third parties, mostly the owner of a shopping centre under which the new metro station was excavated. Based on an agreement with the owner the client decided to make a significant change to the design in the Autumn of 2017. As a result of this change, the station was not to be excavated from underground but built as an open pit area from the surface with the premise that the business centre would be destroyed and then built completely new one, using the space between the station and the business centre for future parking and business premises. Before the end of the year, however, on the basis of further negotiations with the representatives of the business centre owner, this decision was taken back. At that time the excavations of the station were delayed for four months, and this time loss was not made up until the end of the project.

The division of works between joint venture partners was very similar to that of the previous two contracts. Metrostav a.s. ensured horizontal tunnel excavation, including bolting, sprayed concrete, and consolidation of the rock mass by grouting. Destia Oy has secured the construction of site facilities, rock removal and excavation of station entrances and ventilation shafts.

The urban area of Espoonlahti is a residential area of 16,000 inhabitants and all amenities (see Fig. 2). The excavation took place

základů a dalších konstrukcí budov. Největší komplikace nastaly při ražbách stanice, která se nachází přímo pod nákupním centrem Lippulaiva a nedaleko stojícího kostela s částečně prosklenou střechou. Zkracování délky záběru a minimalizace mezní nálože bylo nutné také v úseku ražeb, kde tunel podchází stáj s dostihovými koňmi. Každý odpal se musel ohlašovat prostřednictvím SMS na řadu telefonních čísel, aby se dotčení stačili připravit na odpal a minimalizovalo se tak riziko vzniku škod.

Výběrové řízení na dodavatele bylo vypsáno podle finských standardů YSE1998 (finská obdoba Červené knihy FIDIC) jako dvoukolové. První kolo proběhlo formou prequalifikace jednotlivých uchazečů. Jediným kritériem druhého kola výběrového řízení se stala nejnižší nabídnutá cena. Smluvním jazykem projektu byla finština, ve které také byla veškerá projektová dokumentace a v níž probíhaly kontrolní dny investora.

Stavební dozor zajišťovali přímo zástupci společnosti Länsimetro Oy. Zadávací dokumentaci zpracovali projektanti ze společností Kalliosuunnittelu Oy a Rockplan Ltd. Realizační dokumentaci zajistila společnost Saanio & Riekkola Oy.

Termín pro předání díla dalšímu dodavateli, jehož úkolem je provedení betonářských prací v technologických komorách a stanici a pokládka železobetonových prefabrikátů v traťových tunelech metra, byl po vynuceném prodloužení posunut z 2/2018 na 12/2018.

3. GEOLOGICKÉ POMĚRY FINSKA A PROJEKTU

Finsko je součástí Baltského štítu, který byl dříve nazýván Fennoskandie. Na západě je překryt Skandinávským pohořím, vyzvednutým při kaledonském vrásnění, které probíhalo v několika fázích ve starších prvohorách. Na území Finska jsou většinou hlubinné vyvřeliny (žuly) a metamorfované horniny (ruly, svory). Ve čtyřech oblastech jižního Finska se vyskytuje odrůda žuly zvaná rapakivi (červenohnědé zbarvení, s velkými elipsovitými vyrostlicemi živce). Nejrozsáhlejším geomorfologickým celkem země je Finská jezerní plošina (Järvi Suomi). Zaujímá asi třetinu rozlohy Finska na sever od Lahti. V jižním Finsku se jezerní plošina skládá ze tří volně spojených pánví v nadmořské výšce 76–78 m, které jsou vyplněny několika jezerami.

Ražby byly vedeny převážně žulovou skalní bází s lokálním výskytem rul. Na trase se nacházelo množství poruchových zón, na obr. 3 vyznačených červenými polygony, které si vyžádaly nutnost okamžitého zabezpečení výrubu stříkaným betonem a v některých případech také zkrácení délky záběru. V předstihu byly prováděny těsnící injektáže, ty jsou na ilustraci vyznačeny jako jednotlivé injektážní deštníky, kde fialové jsou systematicky prováděné a zelené nesystematicky, na základě vodních tlakových zkoušek. V předstihu byl proveden seismický geofyzikální průzkum podloží a množství průzkumných jádrových vrtů, na jejichž základě projektant navrhl způsob vyztužení výrubu v celé trase tunelu. Reálné vyztužení se však značně lišilo oproti původním předpokladům. Skutečně zastižená geologie byla totiž významně horší než původně předpokládaná projektem.

4. VÝSTAVBA TUNELU

4.1 Základní parametry projektu

Traťový úsek LU24 Espoonlahti je v pořadí dvanáctým úsekem prodloužení linky metra směrem z Helsinek do Espoo. Po svém dokončení propojí tři sousední nově budované úseky Soukka, Kivenlahti a ze severu navazující úsek Sammalvuori. Poslední jmenovaný úsek je projektovaný jako podzemní depo metra. Metrostavem a.s. budovaný úsek Espoonlahti se sestává z ražeb 2684 m

under or very close to several schools, health facilities and sports centres. From the risk analysis, it was obvious that mining works would be affected by the maximum permissible limits of seismic load due to blasting work on the surrounding buildings. Vibrations from blasting work are transferred to the foundation and other building structures through the bedrock. The biggest complications occurred during the excavation of the station, which is located directly under the Lippulaiva Shopping Centre and a church with a partially glazed roof located nearby. Reducing the length of the rounds and minimizing the limit load was also necessary in the excavation section, where the tunnel passes under the horse stables with racing horses. Each blast had to be reported by SMS to many telephone numbers so that they could get ready for the blast and minimize the risk of damages.

The tender for the contractor was released according to the Finnish standards of the YSE1998 (Finnish equivalent of the FIDIC Red Book) as a two-round process. The first round took place in the form of prequalification of individual applicants. The only criterion for the second round of the tender was the lowest bid. The contracting language of the project was Finnish in which all the project documentation was presented as well as the client's inspection days, which were held in Finnish.

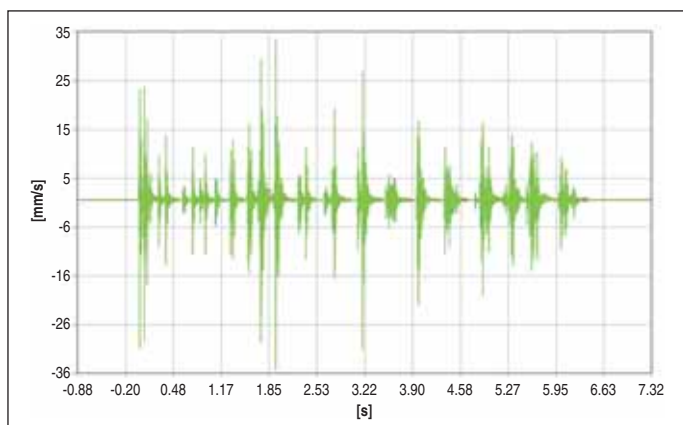
Construction supervision was provided directly by representatives of Länsimetro Oy. The design documentation was prepared by designers from Kalliosuunnittelu Oy and Rockplan Ltd. The implementation documentation was provided by Saanio & Riekkola Oy.

The deadline for submitting the work to another contractor to carry out concrete works in the technology chambers and station and laying of reinforced pre-cast concrete segments in railway metro tunnels was postponed after forced extensions from 2/2018 to 12/2018.

3. GEOLOGICAL SITUATION OF FINLAND AND OF THE PROJECT

Finland is part of the Baltic Shield which was formerly known as Fennoskandian Shield. To the west, it is covered by the Scandinavian Mountains, uplifted by the Caledonian orogeny, which took place in several phases later in the Palaeozoic era. On the territory of Finland there are mostly intrusive igneous rocks (granite) and metamorphic rocks (gneiss and mica-schist). There is a variety of granite called rapakivi (reddish-brown, with large feldspar phenocrysts) in four regions of Southern Finland. The largest geomorphological unit of the country is the Finnish Lake Plateau (Järvi Suomi). It occupies about one third of the area of Finland north of Lahti. In southern Finland, the lake plateau consists of three sedimentary basins at an altitude of 76–78m, which are filled with several lakes.

The excavations were predominantly done in granite rocks with a local occurrence of gneiss. In the direction of excavation there were numerous fault zones, depicted as red polygons in a picture that required the need for immediate securing the excavation with shotcrete and, in some cases, shortening the length of the excavation advance round (see Fig. 3). Pre-grouting was carried out; the pre-grouting boreholes are depicted in the picture as individual canopy tube pre-supports. The violet- marked ones are those carried out systematically, the green-marked ones are unsystematic, based on the absorption capacity tests. Seismic geophysical survey of the bedrock and a number of exploratory core boreholes were carried out in advance and the project engineer proposed a method of reinforcing the excavation throughout the tunnel route based on the results obtained. However, real reinforcement differed significantly



Obr. 5 Zobrazení křivky vibrací odpalu monitorovacím systémem
Fig. 5 Vibration chart from the monitoring system

jednokolejných traťových tunelů, 80 m propojovacích tunelů a téměř 300 m dlouhé jednolodní stanice. Součástí projektu byla také ražba dvou rozrážek a technologických komor pro větrací šachty a rozplety vedoucí k sousednímu úseku Sammalvuori. Zatímco traťové tunely byly raženy v relativně malém příčném řezu 36,2 m², stanice a technologické komory dosahovaly v příčném řezu až 370,4 m². Celkový objem vytěžené rubaniny z horizontálních ražeb byl podle projektu 203 545 m³. Nadloží se pohybovalo v rozmezích 7–30 m. Ražby byly prováděny tunelovací metodou Drill&Blast, která je mimořádně vhodná do skandinávských geologických podmínek. Ražby byly prováděny z 300 m dlouhého přístupového tunelu ústícího do servisního tunelu paralelního s komorou stanice. Přístupový i servisní tunel byly realizovány v předstihu jiným dodavatelem. K zahájení vlastních ražeb došlo na konci května 2016 a postupně bylo otevřeno 6–8 čeleb (čtyři do traťových tunelů a další dvě až čtyři do komory stanice). Ze stanice byly ražby v obou směrech vedeny úpadně s klesáním od 1–3 %.

4.2 Metoda ražby a vyztužení výrubu

Primární zajištění výrubu bylo realizováno různými typy svorníkové výztuže a stříkaného betonu (obr. 4). Dodatečné svorníkování a další vrstvy stříkaného betonu pak slouží jako definitivní vyztužení tunelu. Svorníky s mechanicky rozpínanou hlavou byly uvažovány jako dočasné v délkách 3–6 m. Jejich používání bylo závislé na kvalitě horninového masivu za účelem okamžitého zabezpečení výrubu v případě hrozby uvolnění skalního bloku ohrožujícího bezpečnost pracoviště. Trvalé svorníky byly projektovány jako pruty z hřebínkové oceli Ø 25–36 mm, které byly osazovány systematicky v rastru podle požadavků stavebního dozoru. Všechny trvalé svorníky byly osazeny distančními centrátory, které zaručí minimální požadovanou tloušťku krytí cementovou zálivkou. Oba typy svorníkové výztuže byly vzhledem k požadované životnosti 100 let povrchově ošetřeny vrstvou žárového pozinkování v tloušťce 105 µm a vrstvou epoxidového nátěru v tloušťce 300 µm.

Podobně jako svorníky se i stříkaný beton dělí z hlediska času jejich aplikace na bezpečnostní a trvalé. Bezpečnostní nástřik betonu na výrub tunelu byl prováděn při zhoršených geologických podmínkách. Vzhledem ke špatné kvalitě horninového masivu byl bezpečnostní nástřik ve finále aplikován na téměř 90 % ražeb. V dobrých geologických podmínkách nebylo nutné obnažený výrub ihned zastříkat a práce na ražbách mohly pokračovat. Definitivní ostění, které bylo tvořeno dalšími vrstvami stříkaného betonu (v tloušťkách od 70–150 mm), mohlo být prováděno v minimální vzdálenosti 80 m od čelby tunelu, resp. od nejbližšího místa v podzemí, kde byly prováděny trhací práce. Minimalizovala se tím možnost poškození trvalé vrstvy betonu účinkem vibrací trhacích prací.

from the original assumptions. The actually encountered geology was significantly worse than initially expected by the design.

4. THE TUNNEL CONSTRUCTION

4.1 Basic project parameters

The LU24 Espoonlahti is in line the 12th lot of the metro line extension from Helsinki to Espoo. Upon completion, it will connect three neighbouring newly built sections of Soukka, Kivenlahti and the Sammalvuori section from the north. The latter section is designed as an underground metro depot. Espoonlahti lot built by Metrostav a.s. consists of excavation of 2,684 m of single-track railway tunnels, 80 m of interconnection tunnels and a nearly 300 m long one-vault station. The project also contained excavation of two side stubs and technology chambers for ventilation shafts and track bifurcations leading to the neighbouring section of Sammalvuori. While railway tunnels were excavated in a relatively small cross section of 36.2 m², the excavated cross-sectional area of the station and technology chambers amounted up to 370.4 m². The total volume of excavated rock from horizontal excavations was 203,545 m³ based on the design. The overburden height ranged from 7 to 30 m. The excavation works were carried out using the Drill & Blast tunnelling method, which is particularly suitable for Scandinavian geological conditions. The excavations were carried out from a 300 m long access tunnel leading into a service tunnel which was parallel to the station chamber. The access and service tunnels were excavated in advance by another contractor. Initial excavation work began at the end of May 2016, and later 6–8 headings were opened (4 in railway tunnels and another 2–4 in the station chamber). From the station, the excavations in both directions were steadily declining from 1 to 3%.

4.2 Excavation method and reinforcement

The primary lining was realized by various types of bolt reinforcement and shotcrete (see Fig. 4). Additional bolting and other layers of sprayed concrete serve as the final support of the tunnel. Bolts with mechanically expanded heads were considered as a temporary support in lengths of 3 to 6 m. Their use depended on the quality of the rock mass in order to immediately secure the excavated area in case of a threat of loosening of rock block, which could endanger the safety of the workplace. Permanent bolts were designed as Ø25–36 mm deformed steel rods, which were installed systematically at the grid according to the requirements of the construction supervision. All permanent bolts were fitted with spacers to ensure that the minimum required thickness of cement mortar is met. Both types of bolt reinforcement were coated with a 105 µm thick hot dip galvanised layer of and a 300 µm thick layer of epoxy coating to meet the requirement for 100 years of working life.

Similarly to bolts, sprayed concrete is also divided in terms of time for application to the safety-purpose and final reinforcement. The safety shotcrete in the tunnel was done where poor geological conditions prevail. The safety-purpose shotcrete was finally applied to almost 90% of the excavation. In good geological conditions, it was not necessary to support the rock mass with the shotcrete immediately and the work on excavation could continue. The final lining, which consists of several layers of sprayed concrete (in thicknesses from 70 to 120 mm), could be made at a minimum distance of 80 m from the face of the tunnel, respectively from the nearest location where blasting works were carried out. This minimised the possibility of damaging the permanent concrete layer by the vibration caused by the blasting works. The maximum permissible thickness of one layer of the final lining was 40 mm and each additional layer could only be applied when the previous

Maximální povolená tloušťka jedné vrstvy definitivního ostění byla 40 mm a každá další vrstva směla být aplikována až poté, co podkladní vrstva dosáhla pevnosti alespoň 5 MPa. Až na výjimky byl veškerý beton stříkán s rozptýlenou výztuží z polypropylenových vláken (s dávkováním 7 kg/m³). Kvalitativní požadavek na výsledný beton je stanoven pro třídu C35/45 XC3, XA2, XF1. Dávkování polypropylenových vláken je dáno mimo jiné požadavkem na energetickou pohltivost $E > 1000$ J. Předepsané zkoušky byly opakovány po každých 100 m³ aplikovaného betonu a finální tloušťka vrstvy byla kontrolována odvrtáním jednoho otvoru na každých 100 m² plochy výrubu.

4.3 Trhací práce

K rozpojování horniny se používaly téměř výhradně začerpávané emulzní trhaviny. Klasické náložkové trhaviny byly použity pouze v případech vyžadovaných přímo projektovou dokumentací, například při požadavku na zvýšenou přesnost ražeb vzhledem k budoucím betonovým konstrukcím. Veškeré trhaviny byly dodávány firmou Orica s neelektrickým roznětem. Během ražeb pod jednou z budov se sníženým limitem maximálních vibrací byl úspěšně otestován také elektronický roznět. Nebylo k němu ale nakonec přistoupeno, a to kvůli velké ekonomické zátěži, která z použití elektronického roznětu vyplývá.

Při ražbách bylo použito zhruba 550 tis. kg trhavin. Uvažovaná délka běžného záběru byla 5 m a výtěžnost ve finských žulách dosahovala cca 95 %. Z pohledu minimalizace nepříznivých účinků trhacích prací na okolní zástavbu byla velmi důležitá přesnost odvrtání produkčních vrtů, konstrukce vlastní nálože a především bezchybné načasování každého vrtu. Vrtné schéma profilu traťového tunelu sestávalo z více než 100 produkčních vrtů, z nichž každý musel být načasován tak, aby jeho náložka explodovala samostatně. Dalo se tak zabránit překročení limitů pro seismické účinky trhacích prací, které jsou online monitorovány a ihned po odpalu odesílány objednateli i dodavateli stavby. Při překročení limitů hrozily dodavateli mimo náhrady za poškození majetku třetích stran také vysoké pokuty od objednatele stavby. Trhací práce bylo možné provádět ve všední dny od 7:00–22:00 a v sobotu od 9:00–18:00 (obr. 5).

4.4 Injektáže

Důležitou součástí ražeb bylo také provádění konsolidačních a vodu vytěšňujících injektáží předpolí čelby. Na základě geologického průzkumu byla projektantem určena místa, kde se injektovalo systematicky bez ohledu na výsledky vodní tlakové zkoušky (Lugeon test). Injektážní deštníky se prováděly v délkách 15–24 m vždy minimálně ve dvou fázích. Vrtly byly injektovány mikrocementovou suspenzí až do konečného tlaku 40 bar. V některých úsecích zvýšil projektant konečný tlak na 60 bar. Po šestihodinové technologické přestávce se mezi již zrealizované vrtly provedly stejně dlouhé zbylé vrtly a následovala druhá fáze injektáže. Po jejím dokončení se na dvou kontrolních vývrtech provedla vodní tlaková zkouška. Pokud se splnilo kritérium, bylo možné pokračovat v ražbě. V opačném případě bylo nutné provést další fázi injektáže. Na úseku LU24 – Espoonlahti bylo zainjektováno 2,2 mil. kg mikrocementu, přičemž zadávací dokumentace předpokládala cca 1,3 mil. kg. V místech, kde přesto nebylo dosaženo předstihovou injektáží třídy těsnosti AA (tj. max. 2 l/100 m/min) byly provedeny doplňkové injektáže cementové nebo s použitím polyuretanových pryskyřic. Na konci projektu bylo zainjektováno více než 42 t PUR. Pro potřeby injektáží a kontrolních vrtů bylo dále odvrtáno celkem 124 000 m vrtů a na injektážích bylo stráveno více než 3700 hodin.

layer had reached a strength of at least 5 MPa. Apart from few places, all concrete was sprayed with a diffused reinforcement of polypropylene fibers (dosage of 7 kg/m³). A qualitative requirement for the concrete is determined for C35/45 XC3, XA2, XF1. Amongst other things, the dosage of polypropylene fibers is determined by the energy absorption $E > 1000$ J. The prescribed tests were repeated for every 100 m³ of applied shotcrete and the final thickness of the layer was controlled by drilling one hole per 100 m² of the excavated surface.

4.3 Blasting works

For blasting works liquid emulsion explosives were used most of the time. Classic solid explosives were only used in cases required directly by design documentation. For example, where demanding for excavation accuracy increased with respect to future concrete structures. All explosives were supplied by Orica with non-electric ignition. During excavation under one of the buildings with a reduced maximum vibration limit, electronic ignition has been successfully tested. However, it was not brought to the end, because of the great economic impact that arises from the use of electronic ignition.

Approximately 550 thousands of kilograms of explosives were used during the excavation. The intended length of the standard round was 5 m and the yield in Finnish granites was about 95%. From the point of view of minimising the adverse effects of blasting works on the surrounding area, the accuracy of drilling of production boreholes, the design of the charge and mainly the correct timing of each blast in a borehole was very important. The drilling pattern for the railway tunnel profile consisted of more than 100 production boreholes, each charge of which had to be timed to explode separately. Therefore it was possible to avoid exceeding the limitations for the seismic effects of blasting works which are online monitored and sent to the client as well as to the contractor after immediately each blast. If the limits were exceeded the contractor would be subjected to high fines by the client in addition to the compensation for damage to third party property. Blasting work could be done on weekdays from 7:00 to 22:00 and on Saturdays from 9:00 to 18:00 (see Fig. 5).

4.4 Grouting

An important part of the excavation was also the injection of the consolidation and water displacement grout ahead of the face. Based on the geological survey, the designer identified locations where it was mandatory to grout systematically regardless of the results of the mass permeability test (Lugeon test). Grouting umbrellas were carried out in lengths from 15 to 24 m in at least two phases. The boreholes were grouted with a micro cement suspension until a final pressure limit of 40 bar was reached. In some sections the designer increased the final pressure to 60 bar. After a six hour break, the remaining boreholes were drilled in the same length and the second phase of grouting followed. After completion of grouting, two boreholes were drilled and the permeability test was performed. If it fulfilled the criterion, it was possible to continue the excavation. Otherwise, an additional grouting phase was necessary. In the LU24 – Espoonlahti section, 2.2 million kilograms of micro-fine cement were injected, whereas the tender documentation assumed 1.3 million. In places where the pre-grouting was unable to reach the AA class (i.e. max. 2 l/100 m/min) additional grouting with cementitious mixture or polyurethane resins was performed. At the end of the project more than 42 tonnes of polyurethane resins was consumed. A total of 124 000 m boreholes were drilled for grouting and exploratory purposes and more than 3700 grouting hours were spent on grouting.

4.5 Strojní sestava

Základem strojní sestavy byly vrtací vozy firmy Sandvik DT1130 Data, DT1130i a D920i. DT1130 Data a DT1130i byly osazeny třemi 18–20" lafetami, menší D920i byl osazen dvěma 18" lafetami. Pomocí těchto strojů bylo možné provést jednotlivý záběr v délce až 5,6 m. Dalším strojem byl kolový bagr Liebherr A316 s instalovaným rotátorem Engcon a pracovními nástroji na začistištění výrubu. Vzhledem k ražbám pod zastavěnou oblastí nebylo možné pro začistištění použít jinak velmi vhodný impaktor. Vzhledem k nemožnosti skládkování vytěženého materiálu v blízkosti portálu tunelu byl odvoz rubaniny plánován pomocí kolového nakladače a nákladních automobilů použitelných na veřejné komunikaci. Stříkaný beton byl aplikován pomocí manipulátoru stříkaného betonu Meyco Potenza. V pozdější fázi projektu byly nasazeny dva kusy těchto strojů. Větrání díla bylo zajištěno jako foukací ventilátorem Cogemacoustic o výkonu 2×355 kW a lutnovým tahem o průměru 1600, resp. 1200 mm. Začerpávání emulzí trhaviny bylo zajištěno výrobcem trhavin dodávanou nabíjecí jednotkou mini SSE osazenou na tunelovou plošinu firmy Normet s dvěma pracovními koši. Injektážní práce na bázi cementu byly prováděny s použitím injektážní jednotky Atlas Copco Unigrout MAX 244C na podvozku nákladního automobilu se čtyřmi samostatnými linkami, přičemž jedna z nich byla vždy uvažována jako rezervní. Injektážní práce s PUR byly prováděny s čerpadlem GX 45 dodaným společností Minova Bohemia s.r.o.

4.6 Osádky a turnusování

Na projektu pracovalo v průměru 40 stálých zaměstnanců společnosti Metrostav a.s. z České republiky a Slovenska. Dalších

4.5 Machines

The main part of the machinery set was formed by drilling rigs Sandvik DT1130 Data, DT1130i and D920i. The DT1130 Data and the DT1130i were fitted with three 18–20" booms, the smaller D920i was fitted with two 18" booms. With these machines, it was possible to make a single round up to 5.6m long. Another machine was a wheeled excavator Liebherr A316 with an Engcon rotator installed and tools for the rock scaling. Because of the excavations were performed under the populated area, it was not possible to use a more suitable impactor for the scaling. Due to the impossibility of dumping the excavated material near the tunnel portal, the transportation of rock material was planned using a wheel loader and trucks that are permitted to ride on public roads. The sprayed concrete was applied by Meyco Potenza manipulator. At the later stage of the project, two pieces of these machines were used. The ventilation of the tunnels was ensured by a Cogemacoustic blower with 2×355kW output and a diameter of ventilation ducts of 1600 and 1200mm. Pumping of the explosive emulsions was provided by the manufacturer of the explosives by mini SSE charging unit mounted on a Normet tunnel platform with two working baskets. Cement grouting was carried out by using an injection unit Atlas Copco Unigrout MAX 244C on truck chassis with four separate lines, one of which was always been considered as a reserve. Injection works with polyurethane resins were performed by a GX 45 pump supplied by Minova Bohemia s.r.o.

4.6 Crew and working in tours of duty

In average 40 permanent employees of Metrostav a.s. from the Czech Republic and Slovakia worked on the project. Another

Tab. 1 Faktografické údaje

traťový úsek	LU24 – Espoonlahti
investor	Länsimetro Oy
projektant	Kalliosuunnittelu Oy a Rockplan Ltd
zhotovitel	Metrostav a.s., Praha, Česká republika Destia Oy, Helsinky, Finsko
zahájení výstavby	05/2016
ukončení výstavby	12/2018
příčný řez traťových tunelů	36,2 m ²
příčný řez stanice a technologické komory	370,4 m ²
celková délka ražených tunelů a stanice	2 984 m
velikost nadloží	7–30 m
celkový výrub (včetně šachet)	245 000 m ³
celkový objem injektáží	2,2 mil. kg
celkový objem trhavin	550 000 kg
celková délka svorníkové výztuže	111 000 m
celkové množství stříkaného betonu	13 500 m ³
geologie dle dokumentace	žulová skalní báze s poruchovými zónami
průměrná délka záběru	do 5 m
rychlost postupu	10–20 m/den
metoda ražby	Drill&Blast
zajištění výrubu	svorníková výztuž a stříkaný beton

Table 1 Factual data

lot of the project	LU24 – Espoonlahti
client	Länsimetro Oy
designer	Kalliosuunnittelu Oy a Rockplan Ltd
contractor	Metrostav a.s., Praha, The Czech Republic Destia Oy, Helsinki, Finland
work beginning	05/2016
work ending	12/2018
cross section of the railway tunnel	36.2m ²
cross section of station and technology chamber	370.4m ²
total length of excavated tunnels and station	2 984m
overburden	7–30m
total excavated space (including vertical shafts)	245 000m ³
total consumption of grouting material	2,2 mil. kg
total consumption of blasting material	550 000kg
total length of bolts installed	111 000m
total volume of shotcrete	13 500m ³
geological condition based on design	granite rock base with fault zones
average length of excavation rounds	up to 5m
excavation advance rates	10–20m/day
excavation method	Drill&Blast
excavation support	rock bolts and shotcrete

zhruba 20 zaměstnanců partnera ve sdružení zajišťovalo práce na ražbách šachet a odvoz rubaniny z tunelu. Dorozumívacím jazykem v rámci sdružení byla angličtina.

Zaměstnanci Metrostavu a.s. pracovali v šestitýdenních cyklech. Čtyři týdny vždy strávili prací ve Finsku a další dva týdny byli doma na turnusovém volna. Směny se tak střídaly každé dva týdny, přičemž vždy pouze jedna směna odjížděla domů a nahradila ji směna vracějící se z turnusového volna. Zaměstnanci pracovali ve dvanáctihodinových směnách, z čehož dvě hodiny tvořily zákonem stanovené přestávky. Práce probíhaly v nepřetržitém provozu šest dní v týdnu včetně svátků. Jedinou výjimkou byly Vánoce a Nový rok, kdy se stavba každý rok uzavřela a práce se znovu zahájily až po návratu osádek z dovolené.

4.7 Ražba šachet

Za zmínku také stojí ražba vertikálních šachet, kterou prováděl partner ve sdružení, společnost Destia Oy. Před vlastní ražbou šachty byly v předstihu Metrostavem a.s. vyraženy technologické komory, do kterých tyto šachty ústí. Z povrchu se poté navrtaly produkční vrtly v celé délce šachty (tzn. až 30 m). Trhací práce pak byly prováděny směrem od ústí šachty do technologické komory směrem k povrchu zavěšením náloží do požadované hloubky a následným odpalem. Rozpojená rubanina volně padala do předem vyražené komory a byla pravidelně odtěžována přístupovým tunelem na povrch. Tato metoda ražby šachty je velmi rychlá a efektivní. Časově náročné je pouze ruční začistění výrubu šachty a jeho zabezpečení střikaným betonem suchou směsí z ruky. Veškeré vyztužení šachty se provádí z posuvné pracovní plošiny.

5. ZÁVĚR

V současnosti probíhají v již předaném díle navazující stavební práce jiným dodavatelem. Jedná se zejména o betonáže v technologických komorách a v budoucí stanici. Jsou také prováděny práce na ukládání železobetonových prefabrikátů do traťových tunelů metra, ve kterých povedou finální rozvody elektroinstalace a další média. Termín uvedení do provozu druhé etapy tohoto projektu zatím není pevně stanoven, ale již nyní se předpokládá, že to nebude před koncem roku 2020, jak bylo původně uvažováno.

Metodou Drill&Blast vyrazila společnost Metrostav a.s. už téměř 30 km tunelů v několika zemích severní Evropy, mimo Finsko také na Islandu a v Norsku.

Vzhledem ke všem omezením a komplikacím, které zhotovitele během realizace této zakázky potkaly, je celkové hodnocení kladné. Společnost Metrostav a.s. se i po tříleté přestávce dokázala vrátit na finský trh a investor vysoce hodnotil kvalitu odvedené práce. Projektový tým získal nové poznatky a zkušenosti, které bude moci využít na projektech budoucích.

Ing. ALEŠ GOTHARD, ales.gothard@metrostav.cz,
Ing. PAVEL HERMAN, pavel.herman@metrostav.cz,
Metrostav a.s.

Recenzoval *Reviewed:* Ing. Jan Korejčík

approximately 20 employees from the partner's company worked on the excavation of the shafts and on the transportation of the excavated material from the tunnel. The English language was used in communication among the joint venture partners.

Employees of Metrostav a.s. worked in six-week working cycles. They spent four weeks working in Finland, and the next two weeks they were at home on an auxiliary holiday. The crews were changed every two weeks whereas only one crew was going home and was replaced by the one returning from home. Employees worked in twelve-hour shifts, with two hours considered as a legally prescribed break. The work proceeded in continuous operation six days a week, including public holidays. The only exception was Christmas and the New Year's Eve, when the construction site was closed every year and the work was resumed after the crew returned from holidays.

4.7 Excavation of the vertical shafts

Also worth mentioning is the excavation of the vertical shafts carried out by a partner in the joint venture, Destia Oy. Technology chambers to which the shafts were connected were excavated in advance, before the shaft excavation. The production boreholes were then drilled from the surface along the total length of the shaft (i.e. up to 30m). The blasting work was then carried out from the bottom of the shaft toward the surface by hanging up the explosives to the required depth and firing them. The disintegrated rock fell freely down to the pre-excavated chamber and was regularly transported through the access tunnel up to the surface. This method of shaft excavation is very fast and efficient. The only time-consuming part is manual scaling of the excavation and supporting the excavation with dry-mix sprayed concrete applied from hand. All support of the shaft excavation is installed from a sliding work platform.

5. CONCLUSION

At the moment, the construction site is already handed over to the client and following works, in particular concrete casting works in technology chambers and in the future station, are carried out by another contractor. Reinforced pre-cast concrete segments are also being put in place in the metro running tunnels, where electrical wiring and other media will lead. The opening date of the second phase of the project is not yet firmly established, but it is anticipated that it will not be before the end of 2020, as originally envisaged.

Metrostav a.s., using the Drill & Blast excavation method, has excavated almost 30km of tunnels in several northern European countries, apart from Finland also in Iceland and Norway.

Taking into regards all the difficulties which contractor met during implementation of this project the overall feeling is good. After three years of absence Metrostav a.s. managed to return to Finish market and the client highly regarded the quality of work that had been done. Contractor project team acquired new knowledge and experience that will be used during future projects.

Ing. ALEŠ GOTHARD, ales.gothard@metrostav.cz,
Ing. PAVEL HERMAN, pavel.herman@metrostav.cz,
Metrostav a.s.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] PAVLOVSKÝ, V., GOTHARD, A. Länsimetro – zkušenosti z ražeb v Helsinkách. *Tunel*, 2011, roč. 20, č. 3, s. 20–25
- [2] PAVLOVSKÝ, V., GOTHARD, A., PETRÁSEK, M. Länsimetro – výstavba traťového tunelu úseku Karhusaari. *Tunel*, 2013, roč. 22, č. 1, s. 30–36
- [3] GOTHARD, A. Traťové tunely metra a stanice Espoonlahti, Finsko. *Silnice Železnice*, 2016, roč. 11, č. 5 (<http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/tratove-tunely-metra-a-stanice-espoonlahti-finsko/>)

TUNEL ŽILINA ŽILINA TUNNEL

ANDREJ KORBA, ALENA HASÍKOVÁ, JIŘÍ MOSLER

ABSTRAKT

Tunel Žilina na dálnici D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka byl již v časopisu Tunel prezentován. Ražba 650 m dlouhého tunelu ve složitých geologických podmínkách byla zahájena koncem roku 2014 a dokončena v únoru 2017. Příspěvek je zaměřen na shrnutí poznatků a praktických zkušeností z ražeb tunelu, rekapituluje mimořádné události, dodatečný geologický průzkum a návrhy nových opatření v reakci na nestabilitu výrubu a deformace ostění.

ABSTRACT

The Žilina tunnel on the Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka section of the D1 motorway has already been presented in TUNEL journal. The excavation of the 650m long tunnel through difficult geological conditions started at the end of 2014 and was finished in February 2017. The paper is focused on a summary of the knowledge and practical experience from the tunnel excavation. It recapitulates extraordinary events, the complementary geological survey and proposals for new measures responding to the excavation instability and deformations of the linings.

1. ZÁKLADNÍ INFORMACE O TUNELU ŽILINA

Tunel Žilina je součástí prodloužení trasy dálnice D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka, která tvoří jižní obchvat města Žilina a je jedním z tunelů na tomto úseku spolu s tunelem Ovčiarisko. Stavbu realizovalo pro investora Národní dálničná společnost sdružení firem Doprastav, Váhostav, Strabag a Metrostav. Vlastní výstavbu tunelu zajišťovalo sdružení firem Doprastav – Metrostav, projektantem byl Basler & Hofmann Slovakia. Jedná se o dva tubusy se dvěma jízdními pruhy kategorie 2T-8 propojené dvěma průchozími tunelovými propojkami. Délka ražené části severního tunelu je 648,5 m, jižního tunelu 657 m s maximálním nadložím 38 m.

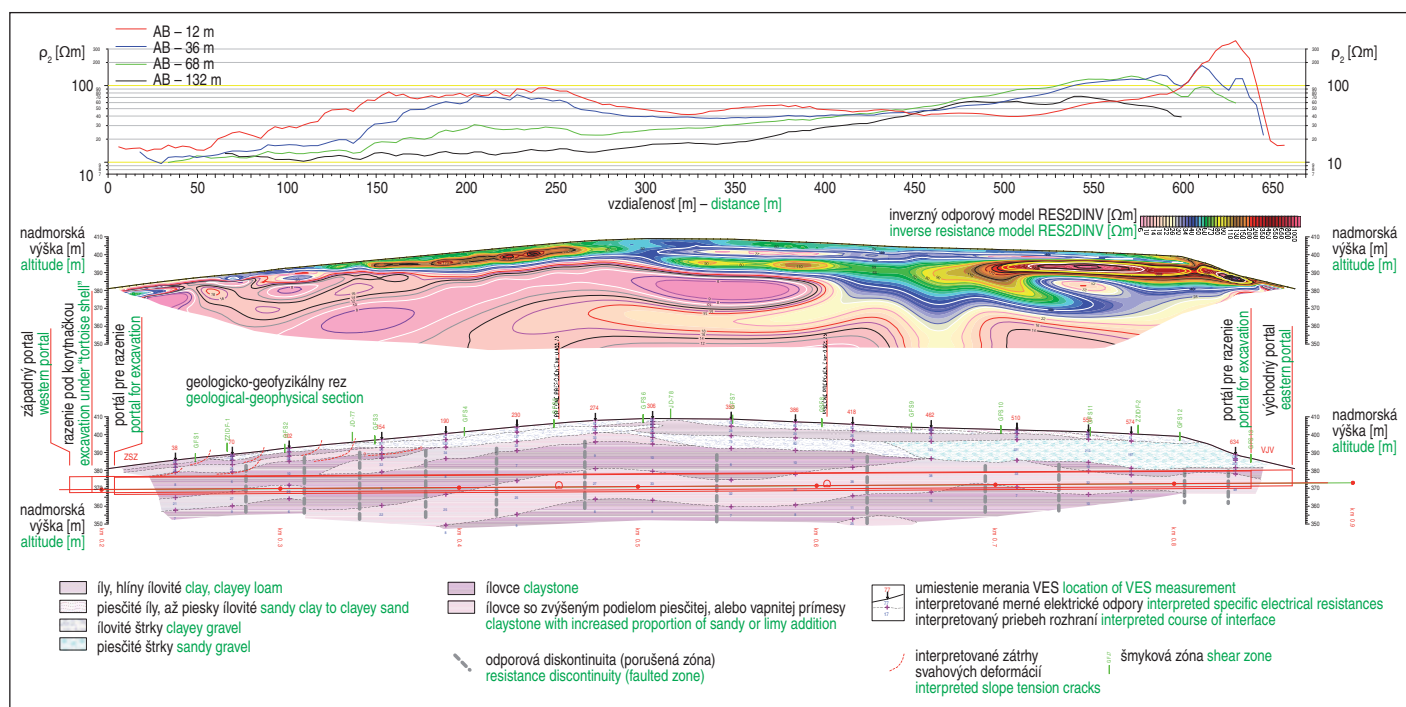
1. BASIC INFORMATION ON ŽILINA TUNNEL

The Žilina tunnel is part of the extension of the Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka section of the D1 motorway, forming the southern by-pass of the town of Žilina and, together with the Ovčiarisko tunnel, is one of the tunnels located in this section. The construction was realised for Národní dálničná společnost (National Highway Company), the project owner, by a consortium consisting of the companies of Doprastav, Váhostav, Strabag and Metrostav. The construction of the tunnel itself was provided by a consortium formed by Doprastav and Metrostav, the design was carried out by Basler & Hofmann Slovakia. The tunnel has two tubes with two

Tab. 1 Rozdělení tunelu do geotech. bloků s geotech. typy a třídami NRTM dle DZS

Table 1 Division of the tunnel into geotech. blocks with geotech. types and NATM excavation classes according to the design for tendering

bloky geo- tech. blocks geo- tech.	staničení severní chainage northern		geot. typ geo- tech. type	výška nadloží m over- burden height m	zařídění podle ÖNORM B 2203 catego- risation by ÖNORM B 2203	upravená délka raženého úseku m mined section changed length m	technologické třídy výrubu – běžný profil excavation support classes – common profile										
	od from	do to					5/2 5/2	6/1 6/1	6/2 6/2	7/1 7/1	MP MP	7/BO 7/BO	7/1 VP 7/1 VP	7/BO VP 7/BO VP	MP VP MP VP	sp kl hluboká deep invert	
							sp kl invert		spkl hl deep invert	sp kl invert			sp kl invert				
Z I Z I	0,2100 0.2100	0,2271 0.2271	G1 G1	15 15	C 3–4 C 3–4	17 17					2 2	15 15					
Z II Z II	0,2271 0.2271	0,2854 0.2854	G2 G2	15–21 15–21	C 3–4 C 3–4	60 60				28 28	32 32						
Z III Z III	0,2854 0.2854	0,4163 0.4163	G3 G3	21–34 21–34	C 2–3 C 2–3	129 129	10 10	49 49	70 70							85 85	
Z IV Z IV	0,4163 0.4163	0,4582 0.4582	G2 G2	34–37 34–37	C 3 C 3	42 42			12 12	30 30							
Z V Z V	0,4582 0.4582	0,5368 0.5368	G3 G3	37–39 37–39	C 2 C 2	78 78	12 12	26 26	40 40							55 55	
Z VI Z VI	0,5368 0.5368	0,5604 0.5604	G2 G2	39–38 39–38	C 2–3 C 2–3	24 24			9 9	15 15							
Z VI Z VI	0,5604 0.5604	0,5992 0.5992	G2 G2	38–37 38–37	C 2 C 2	39 39			12 12	27 27							
Z VII Z VII	0,5992 0.5992	0,6474 0.6474	G2 G2	37–34 37–34	C 3 C 3	48 48			11 11	37 37							
Z VII Z VII	0,6474 0.6474	0,7085 0.7085	G3 G3	34–32 34–32	C 2–3 C 2–3	61 61	5 5	21 21	35 35							40 40	
Z VIII Z VIII	0,7085 0.7085	0,7609 0.7609	G2 G2	32–30 32–30	C 2 C 2	52 52							15 15	37 37			
Z VIII Z VIII	0,7609 0.7609	0,8430 0.8430	G2 G2	30–15 30–15	C 2 C 2	83 83								68 68	15 15		



Obr. 1 Dodatečný geofyzikálny průzkum severní tunelové trouby

Fig. 1 Supplementary geophysical survey for the northern tunnel tube

2. GEOLOGIE

Tunel je situován v paleogénu reprezentovaném především jílovci silně zvětralými až rozloženými charakteru zemin, svah západního portálu se nachází v sesuvném pásmu. Geologie byla již dříve podrobně popsána v časopisu Tunel č. 3/2015, 4/2016 a 2/2018.

Tunel byl podle geologického průzkumu pro DZS provedeného v letech 1996 až 2010 rozčleněn na osm geotechnických bloků s geotechnickým typem horniny G1, G2, G3. Na základě těchto parametrů byl vypracován projekt ražby tunelu s návrhem technologií tříd NRTM.

Již po zahájení ražby úvodního úseku severního tunelu ze západního portálu bylo zřejmé, že geotechnické parametry neodpovídají průzkumu. Po první mimořádné události, při které došlo k vykomínování čelby při výšce nadloží 8 m, zhotovitel zadal provedení dodatečného geologického průzkumu za účelem upřesnění geotechnických parametrů. Byl proveden podrobný geologický a geofyzikální průzkum v celé délce tunelu v trase jak severního, tak jižního tunelu, blíže je popsán v Tunelu č. 4/2016. Bylo zjištěno, že rozsah i stupeň zvětrání horniny je výrazně větší oproti

2T-8 traffic lanes and two cross passages for persons. The lengths of the mined parts of the northern tunnel tube and southern tunnel tube amount to 648.5m and 657m, respectively, with the overburden maximally 38m high.

2. GEOLOGY

The tunnel is located in the Palaeogene environment, represented mainly by heavily weathered up to decayed mudstone with the character of soils; the western portal slope is located in a landslide zone. The geology was already described in detail earlier, in TUNEL journal issues No. 3/2015, 4/2016 and 2/2018.

The tunnel was divided on the basis of geotechnical investigation carried out for the design for tendering from 1996 to 2010 into eight geotechnical blocks with geotechnical ground types G1, G2 and G3. Based on these parameters, the design for the tunnel excavation was developed with the following proposal for the NATM excavation support classes.

It was obvious as early as after the commencement of the tunnel excavation from the western portal that the geotechnical parameters



Obr. 2 Příprava západního portálu

Fig. 2 Preparation of the western portal

DZS. Byly naměřeny nízké geotechnické parametry: $E_{def} = 14,3\text{--}30,1$ MPa, $c = 0\text{--}18$ kPa, $\phi = 10^\circ\text{--}27^\circ$. Odběr vzorků z vrtů pro triaxiální zkoušky nebylo možné provést v potřebné kvalitě z důvodu nesoudržnosti materiálu. Na základě výsledků provedeného geologického a geofyzikálního průzkumu (obr. 1) byla přepracována realizační dokumentace ražby tunelu s novými třídami NRTM.

3. REKAPITULACE PRŮBĚHU VÝSTAVBY

Z důvodu prodloužení přípravných prací při výstavbě západního portálu byla ražba tunelu zahájena asi s půlročním zpožděním oproti původnímu předpokladu. Pro urychlení začátku ražeb se před severním tunelem provedla konstrukce „želvy“ v délce 12,5 m, tím bylo možno redukovat rozsah zajištění spodní části portálové stěny (obr. 2).

Ražby byly zahájeny 20. 11. 2014, již po prvních záběrech bylo patrné, že zastížená geologie není plně v souladu s předpokladem geologie v zadání. Ražba úvodního úseku probíhala pod ochranou „želvy“, na ni navazoval přechodový úsek v nejtěžší navržené technologické třídě VT 7.2. V uvedené třídě byla navržena kombinace zajištění předpolí tunelu čelbovými kotvami, použití opěrného klínu, stabilizace čelby stříkaným betonem s armovacími sítěmi, použití radiálního kotvení a rozšířené paty ostění kaloty a opěří.

Z důvodu nedostatečné stability čela výrubu však bylo nezbytné upravit typ a rozsah zajišťujících prvků a byla vyprojektována nová technologická třída výrubu VT 7.3. Stabilita čelby byla zajišťována čelbovými IBO kotvami délky 8 m s překrytím 4 m v kombinaci s injektovanými IBO deštníky 51 mm délky 9 m vrtanými v každém druhém záběru. Vrtné práce se prováděly se vzduchovým výplachem, aby nedocházelo k nežádoucímu vyplavování materiálu z čelby při použití vodního výplachu. Ukázalo se však, že i vrtání na vzduchový výplach způsobuje zhoršení stability čelby vlivem nakypření horniny a zhoršení soudržnosti způsobené tlakem vzduchu. Z toho důvodu bylo přijato opatření neprovádět kotvení čelby a byl předložen návrh pro vypuštění radiálního kotvení.

Obdobně bylo nezbytné upravit postup provádění stabilizačního nástřiku výrubu. Z důvodu minimální stability povrchové vrstvy horniny výrubu bylo nutno provádět nástřik betonu postupně v několika vrstvách tl. 2–3 cm s technologickou přestávkou mezi jednotlivými vrstvami.

Kromě zmíněných problémů spojených se stabilitou čela výrubu dosahovaly nepříznivých hodnot také deformace tunelového ostění, které se projevovaly rychlým sedáním s minimálními příčnými konvergenčními a sedáním povrchu terénu i přes rychlé uzavírání celého profilu tunelu ve vzdálenosti 8 m od čela tunelu (obr. 3).

Negativní dopad provádění čelbových kotev na stabilitu čelby potvrdilo jejich opětovné zavedení ve staničení 240,02 m, 33 m od portálu. Při jejich vrtání došlo k samovolnému rozvolnění čelby

did not correspond to the investigation conclusions. After the first extraordinary event, during which the 8m high excavation heading overburden caved in, the contractor ordered a supplementary investigation with the aim of refining the geotechnical parameters. The detailed geological and geophysical survey was conducted throughout the tunnel length along the route of both the northern and southern tunnel tubes. It is described in more detail in TUNEL issue 4/2016. It was found out that the extent and degree of rock mass weathering was greater than described in the design for tendering. The following low geotechnical parameters were measured: $E_{def} = 14.3\text{--}30.1$ MPa, $c = 0\text{--}18$ kPa, $\phi = 10^\circ\text{--}27^\circ$. It was not possible to collect samples from the boreholes for triaxial tests in the necessary quality because of incoherence of the material. The design of excavation and support was reworked on the basis of the results of the geotechnical investigation (see Fig. 1) and new excavation support classes were designed.

3. CONSTRUCTION PROCESS RECAPITULATION

Because of the extension of the preparatory work on the western portal, the tunnel excavation commenced with an approximately six month delay in comparison with the original assumption. A 12m long cover-and-cut section was constructed in front of the northern tunnel with the objective to accelerate the commencement of the excavation. In this way, it was possible to reduce the extent of the stabilisation work on the lower part of the portal way (see Fig. 2).

The excavation commenced on 20th November 2014 and it was obvious just after initial excavation rounds that the geology encountered was not fully in agreement with the geology assumed in the design. The excavation of the initial section proceeded using the cover-and-cut method. A transition section excavated through the most difficult excavation support class VT 7.2 rock followed. A combination of stabilisation of the front zone with tunnel face anchors, the use of a wedge support core, stabilisation of the face by shotcrete with welded mesh, the use of radial anchors and the widened footings of the top heading and bench linings were designed for the above-mentioned class.

It was however necessary because of the insufficient excavation stability to adjust the types and extent of the supporting elements. A new excavation support class VT 7.3 was designed. The excavation face stability was provided by 8m long IBO anchors with 4m long overlapping, combined with 9m long canopies formed by 51mm-diameter grouted IBO bolts; drilling for the bolts was carried out in every other excavation round. Air flush was applied to the drilling so that undesirable washing of material from the excavation face which would have happened in the case of the application of water flush was prevented. But it turned out that even drilling with the air flush causes deterioration of the face stability due to rock bulking and worsening of coherence caused by the air pressure. For that reason



Obr. 3 Uzavírání celého profilu tunelu
Fig. 3 Closing of the whole tunnel profile



Obr. 4 Vyspávání horniny v přístropí kaloty
Fig. 4 Loose ground falling from the top heading roof

a postupnému vytvoření předstihu v délce cca 3 m pod ochranným deštníkem. Dne 17. 1. 2015 došlo k nadvýlomu a následnému závalu tunelu. Podrobně je tato událost popsána v Tunelu č. 2/2018 (obr. 4).

Pro minimalizaci prodloužení doby výstavby z důvodu zmáhání závalu severního tunelu bylo rozhodnuto zahájit ražbu jižního tunelu z dosud pouze částečně zajištěného portálu. Zajištění stability nadloží jižního tunelu bylo na rozdíl od severního navrženo v podobě mikropilotového deštníku délky 15 m namísto „želvy“ z důvodu pokročilejšího stupně zajištění portálové stěny (obr. 5).

Podmínkou zahájení ražby jižního tunelu bylo pokračovat v ražbě kaloty po úvodních 15 m ražby s protiklenbou z vyztuženého stříkaného betonu. Toto řešení umožňovalo vyrazit kalotu v celé délce tunelu s možností následného dobírání stupně a dna. Další podmínkou bylo, že deformace ostění nesmí překročit 150 mm. Také bylo rozhodnuto nahradit čelbové IBO kotvy délky 8 m sklolaminátovými kotvami Ø 24 mm vkládanými do vrtů délky 12–24 m Ø 150–170 mm v cementové zálivce s překrytím 8 m.

Po vyražení úvodních 28 m kaloty s protiklenbou během tří týdnů však dosáhly deformace mezní hodnoty 150 mm a jejich průběh nenaznačoval uklidňující tendenci. Práce na kalotě byly proto zastaveny a byla zahájena ražba stupně a dna a celý profil tunelu byl uzavřen do vzdálenosti 16 m od čela kaloty. V tomto místě bylo dosaženo největší deformace za celou dobu ražeb obou tubusů, a to 320 mm a bylo nutno jej následně přestrojít a reprofilovat.

V tomto úseku ražeb byla vyhodnocena účinnost provádění rozšířené paty ostění kaloty a opěří. Z důvodu nedostatečného účinku zmírnění deformačních projevů při ražbě a časové náročnosti provádění bylo rozhodnuto je nadále neprovádět. Pro zvýšení bezpečnosti práce a stability čelby kaloty bylo dále rozhodnuto zvětšit odstup uzavírání dna tunelu z 8 m postupně na 16 m od čela kaloty.

S narůstající výškou nadloží jižního tunelu docházelo k dalšímu zhoršování stability čelby. Účinnost zajištění čelby sklolaminátovými kotvami byla dostačující pouze do výšky nadloží cca 17 m, kdy bylo vyraženo 63 m kaloty, poté se opět začala projevovat nestabilita čelby. Z toho důvodu byly zastaveny práce na jižním tunelu a dohodnut další postup.

S odstupem cca 40 m za čelbou jižního tunelu byla po provedení zajišťujících prací a likvidaci závalu znovu zahájena ražba severního tunelu při shodném technickém a organizačním řešení zajištění výrubu jako u jižního tunelu. Dva dny po přerušení ražby jižního tunelu došlo v severním tunelu ve vzdálenosti 32 m od čelby jižního tunelu ke vzniku nadvýlomu s postupným opadáváním střípkovitě odlučné horniny z obvodu výrubu s následným závalem tunelu. Současně došlo k průniku podzemní vody a zvodnělých rozvolněných paleogenních jílovců v konzistenci čerstvého řídkého betonu s drobnými úlomky jílovců a jemných částic jílu, přestože při vrtání deštníku IBO 51 délky 9 m nebyl zaznamenán žádný přítok vody.

Po této druhé mimořádné události bylo nezbytné přijmout jiné dodatečné opatření pro zvýšení stability výrubu. V návaznosti na vyhodnocení realizovaných zkoušek horizontálních tryskových injektáží z čela tunelu a posouzení jejich proveditelnosti bylo nakonec přistoupeno k provádění vysokotlaké injektáže čelby. Byly stanoveny limitní hodnoty pro provádění injektáží, a to 100 l na jednu etáž, nebo dosažení injektážního tlaku 2 MPa. Při provádění prací se ukázalo, že množství injektážní směsi 100 l na etáž je nedostatečné a nezaručuje potřebnou stabilitu čelby. Proto jako jediná limitní hodnota injektáží bylo stanoveno dosažení požadovaného tlaku 2 MPa bez ohledu na objemové množství injektážní směsi.

Byly nahrazeny stávající ochranné deštníky z IBO kotev Ø 51 mm mikropilotovými deštníky Ø 114 mm délky 12 m s pře-



Obr. 5 Zahájení ražby JTT ze západního portálu

Fig. 5 Commencement of the STT excavation from the western portal

a measure not to carry out anchoring of the face was adopted and even a proposal to exclude radial anchoring was submitted.

Modifying the procedure for applying stabilisation shotcrete to the excavation was similarly necessary. Because of the minimal stability of the upper layer of the rock at the top of the excavation, it was necessary to apply shotcrete in steps, in several 2–3 cm thick layers, with technology breaks between individual layers.

In addition to the above-mentioned problems associated with excavation stability, the values of deformations of the tunnel lining reached unfavourable levels. They manifested itself by quick settlement with minimum transverse convergences and settlement of the terrain surface despite the fast closing of the whole tunnel profile at the distance of 8 m from the tunnel excavation face (see Fig. 3).

The negative impact of drilling for anchors ahead of the face was confirmed by the repeated introduction of anchors at chainage meter 240.02, 33 from the portal. During the drilling process the excavation face rock spontaneously loosened and ca 3 m long excavation advance gradually developed under the protective canopy. On 17th January an overbreak occurred and the tunnel excavation subsequently collapsed. This event was described in detail in TUNEL journal issue 2/2018 (see Fig. 4).

The decision was made for the purpose of minimising the construction time extension because of the work on the removal of the northern tunnel collapse that the excavation of the southern tunnel tube would start from the still only partially stabilised portal. In contrast with the northern tube, 15 m long canopy tube pre-support was designed for stabilisation of the southern tunnel overburden instead of using the cover-and-cut technique, with respect to the more advanced work on the portal wall (see Fig. 5).

There was a condition for the commencement of the excavation of the southern tunnel tube that the top heading excavation after initial 15 m advance would continue with constructing the reinforced shotcrete invert. This solution allowed for driving the top heading throughout the tunnel length with the possibility of subsequent completion of excavation of the bench and bottom. Another condition was that deformations of the lining exceeding 150 mm were not permitted. It was in addition decided that the 8 m long face-supporting IBO anchors would be replaced with 8 m overlapping glassfibre reinforced plastic anchors Ø 24 mm inserted into 12–24 m long, 150–170 mm diameter boreholes filled with cementitious grout.

After completion of the excavation of initial 28 m of the top heading with the invert during the course of three weeks, the deformations reached the ultimate value of 150 mm and their development did not indicate any tendency toward stabilisation. The work on the



Obr. 6 Vrtání mikropilotových dešťníků a čelbových kotev

Fig. 6 Drilling for canopy tube pre-support and face supporting anchors

kryvem 4 m injektovanými cementovou směsí a vrtání odvodňovacích vrtů délky 20 m v úsecích se zvýšeným rizikem výskytu podzemní vody (obr. 6).

Po provedení zkušebního úseku bez radiálního kotvení na severním tunelu, při kterém se potvrdilo, že toto nemá prakticky žádný vliv na velikost naměřených hodnot deformací ostění tunelu, došlo k vypuštění radiálních kotev na severní tunelové troubě ze západního portálu. Jako dodatečné opatření pro snížení deformací ostění tunelu a poklesů terénu byla provedena úprava tvaru příčného profilu a zvětšení prohloubení dna tunelu (obr. 7).

Výše popsaná opatření se ukázala jako dostatečně účinná jak z pohledu zajištění stability výrubu, tak řízení deformačních projevů ražeb. Při dosažení výšky nadloží 20 m však začalo docházet ke vzniku smykových trhlin v ostění na horizontu přechodu kalota stupeň i přesto, že bylo prováděno uzavírání celého profilu tunelu do 16 m od čela kaloty včetně provádění protiklenby na kalotě (obr. 8.1, 8.2).

Pro eliminaci tohoto jevu bylo navrženo zesílení vyztužení primárního ostění v tomto místě v podobě vložených souběžných částí příhradových rámu pro zvýšení smykové pevnosti ostění. Požadovaný výsledek to ale nepřineslo a bylo nutno nahradit stávající tříprutové příhradové rámy čtyřprutovými.

Z časových důvodů bylo v době po druhé mimořádné události rozhodnuto zahájit po dokončení zajištění východního portálu protiražbu. Vzhledem k výrazně lepší prognóze geotechnických parametrů horniny v úseku ražeb z východního portálu podle výsledků dodatečného geologického průzkumu byly navrženy technologické třídy výrubu bez uvažování vysokotlaké injektáže s výjimkou poruchových pásem.

K poslednímu závalu tunelu došlo 24. 9. 2016 na jižním tunelu, při ražbě z východního portálu, těsně před proražením, v době,

top heading was therefore stopped, the excavation of the bench and bottom was started and the whole tunnel profile lining was closed up to the distance of 16m from the top heading excavation face. Deformation value of 320mm, the largest for the entire time of the excavation of both tunnel tubes, was reached at this place. It was subsequently necessary to reinstall the excavation support and reprofile the excavation contour.

The effectiveness of the widened footings of the top heading and bench linings was assessed in this excavation section. The decision was made that it would not be further carried out with respect to the insufficient effect of the above-mentioned measures on mitigation of deformational manifestations encountered during tunnel excavation and on the time demands of the installation. It was further decided that the distance of closing the tunnel bottom lining from the top heading excavation face would be gradually increased from 8m to 16m with the aim of increasing safety at work and stability of the top heading excavation face.

The stability of the face further deteriorated with the increasing height of the southern tunnel tube overburden. The effectiveness of supporting the face with glassfibre reinforced plastic anchors was sufficient only up to the overburden height of ca 17m, which was reached when about 63m of the top heading excavation had been finished. Then the excavation face instability started to manifest itself again. The work on the southern tunnel was for that reason stopped and another procedure was agreed.

The excavation of the northern tunnel tube was restarted at the distance of ca 40m behind the southern tunnel excavation face, after completion of the stabilisation operations and recovery of the collapsed tunnel. The technical and organisational solution to the excavation was identical with the solution applied to the southern tunnel. Two days after the interruption of the southern tunnel excavation, an overbreak appeared in the northern tunnel at the distance of 32m from the southern tunnel excavation face. Shards of rock started gradually to fall down from the tunnel excavation circumference and an excavation collapse followed. At the same time groundwater and loosened water-bearing Palaeogene mudstone with the consistency of fresh thin concrete, containing small fragments of mudstone and fine particles of clay penetrated into the excavation despite the fact that no water inflow was registered during the course of drilling for the 9m long IBO 51 canopy.

It was necessary after the second extraordinary event to adopt another additional measure for increasing the excavation stability.



Obr. 7 Úprava tvaru příčného profilu

Fig. 7 Modification of the cross-sectional geometry



Obr. 8.1 Smykové trhliny v ostění
Fig. 8.1 Shear cracks in the lining

kdy se již zdálo, že raziče nemůže překvapit žádná nečekaná událost. V tomto místě nebyla dodatečným geologickým průzkumem signalizována žádná geologická porucha. Při ražbě kaloty došlo k nadvylomu na čelbě a následnému závalu, průběh byl podobný jako u závalu č. 1 na severním tunelu. Došlo k postupnému rozvolňování střípkovitě rozpadavé horniny a prodlužování nadvylomu ve směru ražby, a tím obnažování ochranného deštníku z IBO kotev 51 mm. Nepodařilo se provést stabilizaci čelby a následně došlo k závalu tunelu (obr. 9.1, 9.2, 9.3).

Před zmáháním závalu a zahájením další ražby bylo provedeno zajišťující opatření spočívající v proinjektování okolí výrubu pomocí vějířovitých vrtů Ø 114 mm délky 12 m vrtaných přes ostění tunelu a zajištění čelby čelbovými kotvami vrtanými a osazenými přes zpevněný sytný kužel rubaniny. Na severním tunelu bylo v tomto staničení provedeno proinjektování horniny vysokotlakou injektáží.

K dalším neočekávaným komplikacím při ražbě již dále nedošlo, jižní tubus byl úspěšně proražen 3. 11. 2016, severní 9. 2. 2017.

4. NÁVRH NOVÝCH TECHNOLOGICKÝCH TŘÍD VÝRUBU

Jak vyplývá z rekapitulace průběhu ražeb, v průběhu výstavby tunelu se vyskytla řada nepředpokládaných okolností a bylo nezbytné operativně reagovat na zastižené geotechnické poměry a vyhodnocovat účinnost navržených opatření. Jednalo se především o nepříznivé geotechnické poměry, nestabilitu čelby a výrubu, absenci vzniku horninové klenby a rychlý nárůst deformací.

Zastižené podmínky na čelbě byly operativně vyhodnocovány a přijímala se doplňující opatření pro bezpečný průběh ražeb. Projektování nových opatření a technologických tříd výrubu postupovalo podle potřeb výstavby, za což patří dík zkušeným projektantům z projekční kanceláře Basler & Hofmann.

Tunel byl vyražen v osmi základních technologických třídách 7/2–7/5 a 8/6–8/9 s odlišnými modifikacemi a několika doplňkových, lokálně uplatněných technologických tříd výrubu. Primární ostění bylo navrženo ze stříkaného betonu tl. 25 až 40 cm, armovacími sítěmi 150×150×8 mm ve dvou vrstvách s příložkami 16 mm. Dále byly použity ochranné deštníky IBO 51, mikropilotové deštníky Ø 114 mm, radiální kotvy IBO 32 mm délky 6 až 8 m, čelbové kotvy délky 8 až 20 m, opěrný klín čelby, stabilizační nástřik čelby SB se sítí „sloní nohy“, protiklenba na kalotě, vysokotlaké injektáže (obr. 10, 11).



Obr. 8.2 Smykové trhliny v ostění
Fig. 8.2 Shear cracks in the lining

As a follow-up to the assessment of the realised tests of horizontal jet grouting ahead of the tunnel excavation face and assessment of its feasibility, the contractor proceeded to carry out high-pressure grouting into the face. Limit values were set for injecting the grout, concretely 100L per one stage or reaching the grouting pressure of 2MPa. It turned out during the course of the grouting operations that the 100L amount of grout per stage was insufficient and did not guarantee the required stability of the excavation face. For that reason the only limit value set for grouting was reaching the required pressure of 2MPa, regardless of the volume of grouting mixture.

The existing protective canopies formed by IBO anchors were replaced with canopy tube pre-support formed by 12m long, Ø 114mm tubes with 4m overlaps, grouted with cementitious mixture, and drilling for 20m long drainage holes in the tunnel sections with an increased occurrence of groundwater (see Fig. 6).

After completion of the test section without radial anchors in the northern tunnel tube, where it was confirmed that it had virtually no influence on the magnitude of the measured values of tunnel lining deformations, the radial anchors were excluded. The cross-section geometry was modified and the tunnel bottom excavation depth was increased (see Fig. 7) as an additional measure designed to reduce the tunnel lining deformations.

The measures described above turned out to be sufficiently effective from the aspect of securing the excavation stability and the aspect of controlling the deformational manifestations of the excavation. But, after the overburden thickness reaching 20m, shear cracks in the lining started to appear on the horizon despite closing the whole excavation profile up to the distance of 16m from the top heading face, including concreting the invert in the top heading (see Figures 8.1 and 8.2)

Strengthening of the primary lining reinforcement at this place having the form of inserted parallel parts of lattice girders for increasing the shear strength of the lining was designed with the objective to eliminate the above-mentioned phenomenon. However, the required result was not achieved and it was necessary to replace the existing 3-rod lattice girders with 4-rod ones.

The decision was made after the second extraordinary event for reasons of time, that counter-heading would be launched after the completion of the stabilisation of the eastern portal. With the results of supplementary geological survey taken into consideration, excavation support classes were proposed without taking high-pressure grouting into account, (with the exception of faulted zones). The proposal was made with respect to the significantly better prognosis of geotechnical parameters of the rock mass in the section of the excavation heading from the eastern portal.



Obr. 9.1 Vývoj vzniku mimořádné události od 9 h do 13 h

Fig. 9.1 Process of the origination of the extraordinary event from from 9 a.m. to 1 p.m.



Obr. 9.2 Vývoj vzniku mimořádné události od 9 h do 13 h

Fig. 9.2 Process of the origination of the extraordinary event from from 9 a.m. to 1 p.m.



Obr. 9.3 Vývoj vzniku mimořádné události od 9 h do 13 h

Fig. 9.3 Process of the origination of the extraordinary event from from 9 a.m. to 1 p.m.

Pro zajištění stability čelby se ukázalo jako nejúčinnější opatření použití tlakové cementové injektáže. Zesílení příhradových ráků BTX na čtyřprutové zabránilo vzniku podélných a smykových prasklin v ostění. Rychlý nárůst deformací pomohla zpomalit protiklenba v kalotě a následné uzavírání celého profilu s prohloubeným dnem v optimálním odstupu od kaloty. Úprava profilu dna výrubu přispěla k ustálení deformací na požadovaných 18 cm.

The last tunnel collapse happened in the southern tunnel on 24th September 2016, during the course of the excavation from the eastern portal, just before the breakthrough, at the time when it already seemed that the miners could no more be surprised by any extraordinary event. No geological fault had been signalled by the supplementary geological survey in this location. An overbreak developed at the excavation face during the top heading excavation and the tunnel collapse followed. The course of the failure was similar to the course of the collapse No. 1 in the southern tunnel tube. The shardy rock was gradually loosening and the overbreak length was increasing in the direction of the excavation. The protective umbrella formed by 51mm-diameter IBO anchors was gradually uncovered. The attempt to stabilise the excavation face failed and the tunnel subsequently collapsed (see Figures 9.1, 9.2 and 9.3).

A stabilisation measure lying in injecting grout into the excavation surroundings through fans of 12m long, 114mm in diameter boreholes passing through the tunnel lining was implemented before recovering the collapse and recommencing the excavation, and the excavation face was stabilised with face anchors installed through a hardened cone of bulk muck. In the northern tunnel, ground at this chainage was stabilised with high-pressure grouting.

Other unexpected complications during the course of the excavation were no more encountered; the southern and northern tunnel tubes broke through of 3rd November 2016 and 8th February 2017, respectively.

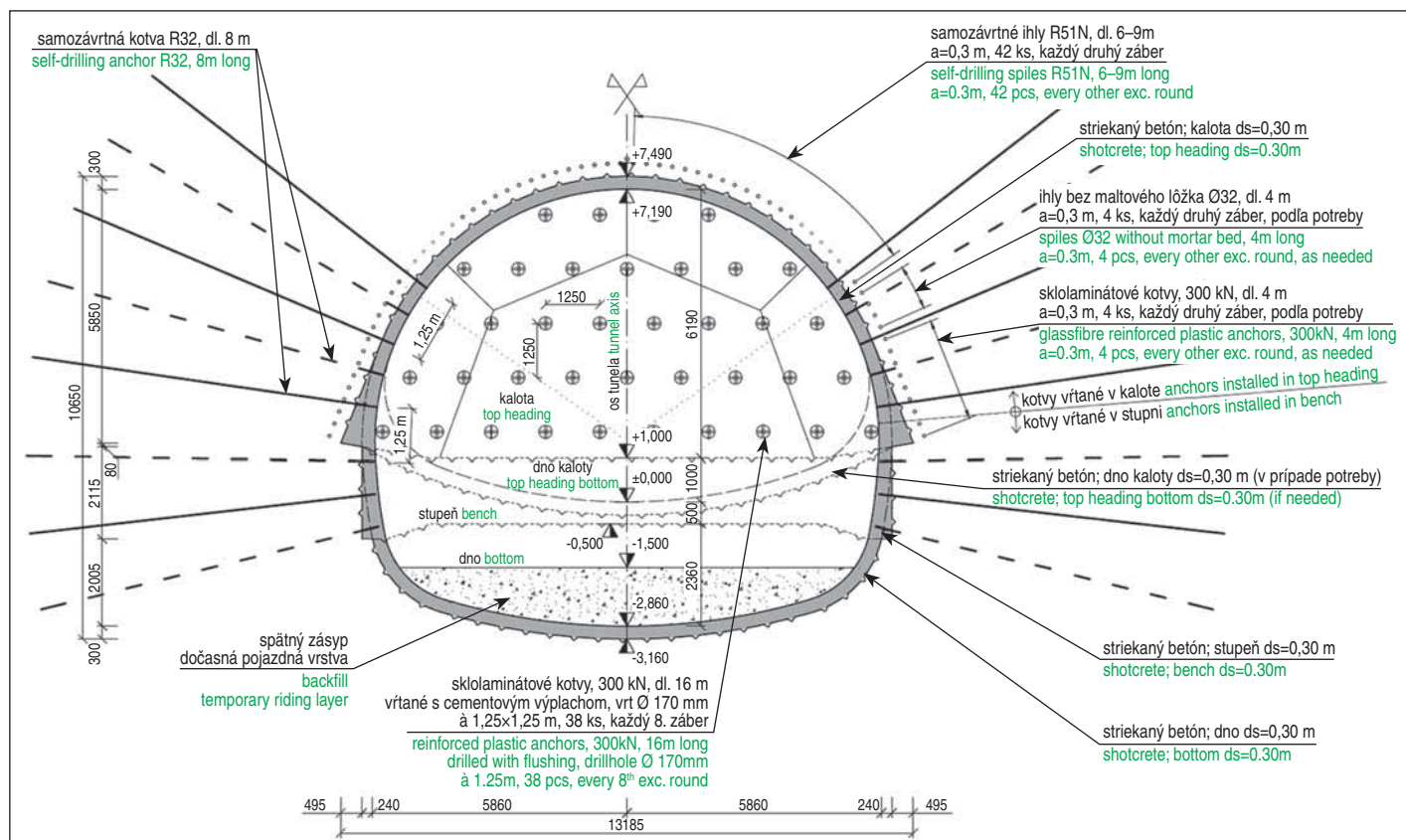
4. DESIGN FOR NEW EXCAVATION SUPPORT CLASSES

As follows from the recapitulation of the course of the tunnel excavation, several unexpected circumstances occurred during the course of the tunnel excavation and it was necessary to operatively respond to the geotechnical conditions encountered and assess the effectiveness of the proposed measures. Among the problems encountered there were unfavourable geotechnical conditions, instability of the face and the excavated opening, absence of the development of ground arch and a rapid increase in deformations.

The conditions encountered at the headings were operatively assessed and complementary measures for the safe excavation process were adopted. The system of designing new measures and excavation support classes worked in accordance with the construction needs, for which the Basler & Hofman company's experienced designers deserve our thanks.

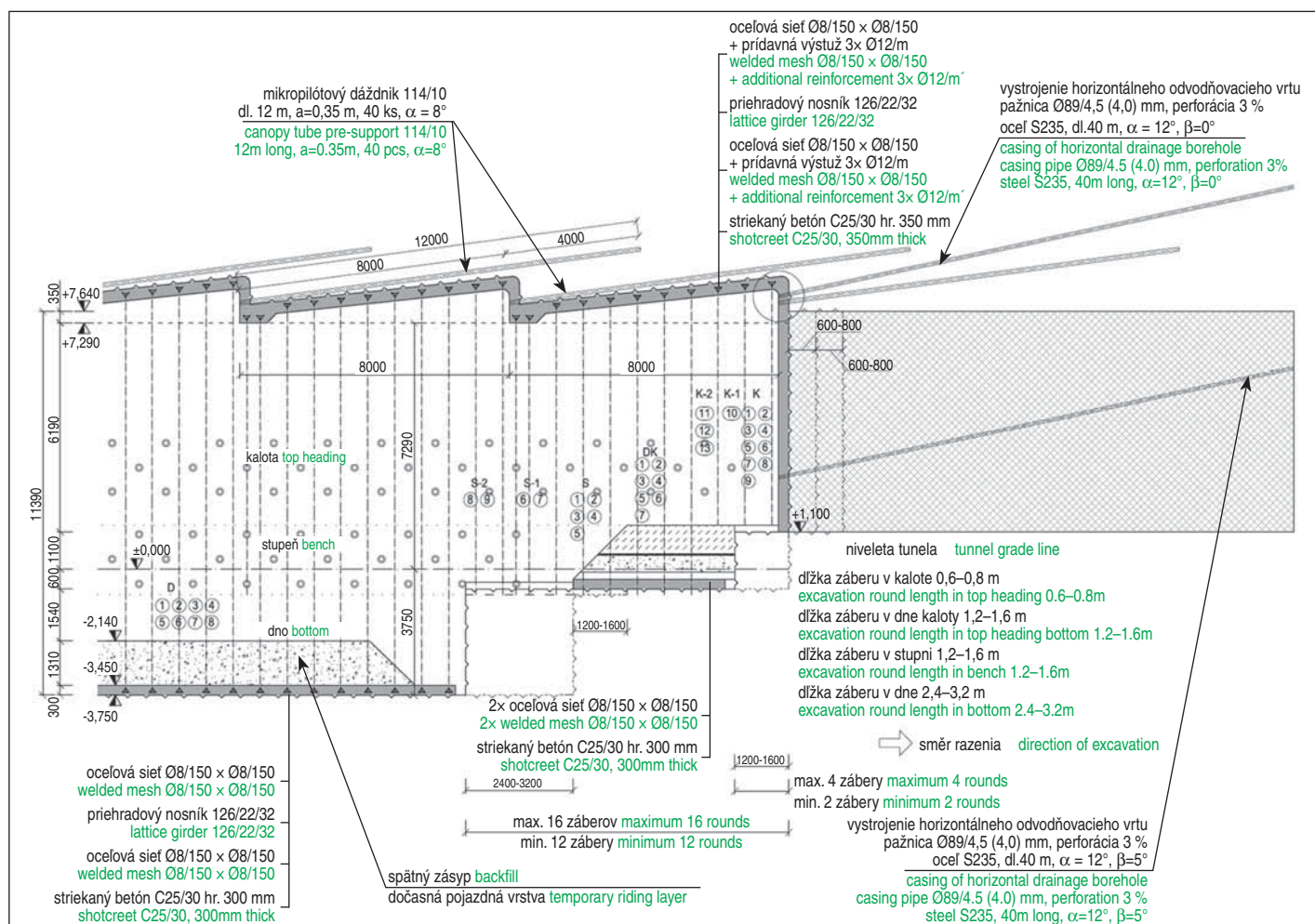
The tunnel was driven through eight basic excavation support classes of rock, 7/2–7/5 and 8/6–8/9, with different modifications and several complementary locally applied excavation support classes. Shotcrete layers 25 to 40cm thick, reinforced with two layers of 150x150x8 mm welded mesh with 16mm-diameter strap pieces were designed for the primary lining. In addition, IBO 51 protective umbrellas, canopy tube pre-support (tubes 114mm in diameter), 6 to 8m long, 32mm-diameter radial IBO anchors, 8–10m long face support anchors, a wedge support core, applying stabilisation shotcrete with welded mesh to excavation face, widened footings, inverted arches at top heading and high-pressure grouting were applied (see Figures 10 and 11).

The application of high-pressure grouting using cementitious grout mixture turned out to be the most effective measure for the stabilisation of the excavation face. Replacing the BTX lattice girders with stronger four-rod lattice girders prevented the origination of longitudinal and shearing cracks in the lining. The inverted arch in the top heading and subsequent closing of the whole profile with the deepened bottom at an optimal distance from the top heading helped to slow down the rapid increase in deformations. The modification of the excavation bottom contributed to settling the deformations at the required 18cm.



Obr. 10 Příčný řez zajištění čelby VT 7.2 MOD O

Fig. 10 Cross section through the excavation face support, excavation support class 7.2 MOD O



Obr. 11 Podélný řez s protiklenbou na kalotě VT 8/7

Fig. 11 Longitudinal section through the invert in the top heading, excavation support class 8/7

Neosvědčily se radiální kotvy a rozšíření paty ostění kaloty a opěří nezabránilo sedání kaloty ve špatných geologických podmínkách s nízkým nadložením. Ani protiklenba na kalotě bez rychlého uzavírání celého profilu také samostatně nesplnila svůj účel. Klasické čelbové kotvy neplnily svoji funkci a při jejich provádění docházelo ke zhoršení kvality čelby.

5. ZÁVĚR

Stavební část tunelu Žilina byla úspěšně dokončena. Předpokládané náklady 27 mil. EUR vzrostly vzhledem k zastižení odlišných podmínek oproti předpokladům na 74 mil. EUR. Pozitivní skutečností zůstává, že i přes ražbu ve velmi nepříznivých geotechnických podmínkách nedošlo během výstavby k žádnému závažnému úrazu. Ražby byly ukončeny 14. 2. 2017, betonáže 19. 12. 2017. V době psaní článku probíhala montáž technologického vybavení a připravují se provozní zkoušky a příprava tunelu k uvedení do provozu.

Jak vyplývá z výše uvedených skutečností, v případě nutnosti změny technického řešení při výstavbě tunelu z důvodu zastižení odlišných geotechnických podmínek oproti původním předpokladům hraje významnou roli technické, časové a finanční hledisko. V těchto případech je nezbytné pružně reagovat na změnu podmínek, vypracovat a odsouhlasit technické řešení a zvážit finanční dopady s ohledem na smluvní podmínky.

Otevřený dialog kvalifikovaných zástupců účastníků výstavby je nezbytný pro úspěšné vyřešení problému. Objednatel, zhotovitel i projektant by si měli být vědomi, že jsou „na jedné lodi“ a bez jejich společného, stejným směrem cíleného úsilí často není možné nastalé problémy vyřešit. Někdy dojde k vzájemnému konsenzu teprve po vzniku nebo opakování havarijního stavu. V případě tunelu Žilina to byl až výskyt druhé mimořádné události.

Opakovaně se potvrzuje, že geologický průzkum má zásadní vliv na úspěch celé výstavby. Nedostatečně provedený geologický průzkum u tunelů ve složitých geologických podmínkách může výrazně zkomplikovat postup výstavby. Naopak provedení podrobného průzkumu již před fází zadávacího řízení stavby může investorovi výrazně ušetřit nejen náklady na výstavbu, ale také zkrátit dobu výstavby.

6. PODĚKOVÁNÍ

Autoři článku tímto děkují všem účastníkům výstavby, kteří se podíleli na výstavbě a svou prací a přístupem přispěli ke zdárnému dokončení tohoto nedlouhého, ale po technické stránce nesmírně náročného tunelu.

*Ing. ANDREJ KORBA, korba@metrostav.cz,
Ing. ALENA HASÍKOVÁ, hasikova@metrostav.cz,
Ing. JIŘÍ MOSLER, mosler@metrostav.cz.,
Metrostav a.s.*

Recenzoval *Reviewed: Ing. Ota Jandejsek*

The radial anchors did not acquit themselves well and widening of the top heading and bench footings did not prevent the settlement of top heading in adverse geological conditions with low overburden. Even the inverted arch in the top heading without quick closing of the whole profile did not fulfil its purpose on its own. Classical face-support anchors did not fulfil their function and excavation face quality deteriorated during their installation.

5. CONCLUSION

The civil engineering part of the Žilina tunnel has been successfully finished. The estimated cost of EUR 27 million has increased to EUR 74 million due to conditions differing from the assumptions. The positive fact remains that no serious injury was incurred despite the tunnel excavation carried out in very unfavourable geotechnical conditions. The excavation was finished on 14th February 2017 and concrete casting operations ended on 19th December 2017. Currently the installation of tunnel equipment is underway, operational tests are under preparation, and the tunnel is being prepared for opening to traffic.

As it follows from the above-mentioned facts, the technical, time-related and financial aspects play a significant role in the case of a necessity for changing the technical solution during the tunnel construction due to encountering geotechnical conditions differing from the original assumptions. In such cases it is necessary to respond flexibly to the changed conditions, elaborate and have agreed a technical solution and consider financial effects with respect to contract conditions.

An open dialogue among qualified representatives of parties to the construction is necessary for finding successful solution to the problem. The client, contractor and designer should be aware of the fact that they are “in the same boat” and it is often impossible to solve the encountered problems without their joint effort targeted in the same direction. Consensus is sometimes achieved only after development of emergency or after repeated emergencies. In the case of the Žilina tunnel, it was after the second emergency.

The fact is repeatedly confirmed that geological survey has crucial influence on success of the whole construction project. Insufficiently conducted geological survey in complex geological conditions can significantly complicate the construction process. Conversely, detailed survey conducted in advance of the tendering procedure can not only significantly save the project owner's construction cost, but also reduce the construction time.

6. ACKNOWLEDGEMENTS

Authors of the paper thank all participants in the construction who contributed by their work to the successful completion of this not so long tunnel, which was, however, extremely technically complicated.

*Ing. ANDREJ KORBA, korba@metrostav.cz,
Ing. ALENA HASÍKOVÁ, hasikova@metrostav.cz,
Ing. JIŘÍ MOSLER, mosler@metrostav.cz.,
Metrostav a.s.*

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Basler & Hofmann Slovakia s.r.o. DRS Dialnica D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka, časť primárne ostenie, SO 447, SO 448 Postup výstavby VT 7/2 mod, zmena 03/2015
- [2] Basler & Hofmann Slovakia s.r.o. DRS Dialnica D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka, časť primárne ostenie, SO 447, SO 448, Postup výstavby VT 8/7, zmena 01/2016
- [3] GEOFOS, s.r.o. Dialnica D1 Hričovské. Podhradie – Lietavská Lúčka, Tunel Žilina, inžinierskogeologická časť DSP, Žilina, 06/2008
- [4] GEOFOS, s.r.o. Doplnkový inžinierskogeologický prieskum, Žilina 2015 Tunel č. 3/2015, 4/2016 a 2/2018

RAŽBA POD JEZEREM MÄLAREN – FÖRBIFART STOCKHOLM PROJEKT FSE209

TUNNELLING UNDER LAKE MÄLAREN – FÖRBIFART STOCKHOLM PROJECT FSE209

TOMÁŠ NĚMEČEK

ABSTRAKT

O projektu a realizaci silničního obchvatu města Stockholmu, zvaného Förbifart Stockholm, bylo dříve psáno v článcích publikovaných v časopise Tunel v číslech 1/2017 a 4/2017. V tomto článku je popsán průběh prací společnosti Subterra a.s. na projektu FSE209 v roce 2018 a zejména revidovaný projekt v úseku pod jezerem Mälaren, kde z důvodu nekompletnosti realizačního projektu v tomto úseku byly razicí práce v úvodu roku 2018 na několik měsíců přerušeny. V článku jsou uvedeny první zkušenosti z ražeb průzkumných tunelů pod jezerem, které přinesl revidovaný projekt jako opatření pro rychlejší a bezpečnější překonání této složité pasáže.

ABSTRACT

Information on the design and realisation of the Stockholm bypass road called Förbifart Stockholm was recently published in TUNEL journal issues 1/2017 and 4/2017. This paper contains a description of the history of the Subterra a. s. work on the FSE209 project in 2018 and, first of all, the revised design for the section under Lake Mälaren, where tunnelling operations were suspended for several months at the beginning of 2018 as the client found the original design for tunnelling under lake Mälaren incomplete. The paper contains initial experience from driving exploratory tunnels under the lake brought by the revised design as measures for faster and safer overcoming of this complicated section.

1. VÝVOJ PROJEKTU FSE209 V ROCE 2018

V lokalitě Sättra byly razicí práce v tunelech hlavní trasy HT201 a HT202, ve směru na sever, přerušeny a v lokalitě Skärholmen rovněž nebylo možné, zejména z důvodů zhoršené geologie, razit na všech čelbách, přesto se dařilo průměrně vyrazit přes 100 m týdně. Souhrnně v celém roce bylo vyraženo 527 000 m³ rubaniny, což představuje přibližně 5,5 km tunelů. Největší progres zaznamenaly tunely hlavní trasy, každý přibližně 1,5 km, které jsou současně raženy na čtyřech čelbách. Na obr. 1 jsou značeny jako čelby 1 a 2 v lokalitě Skärholmen a čelby 3 a 4 v lokalitě Sättra. Ražby tunelových ramp RT211 a RT212 postoupily přibližně o 700 m. Zbýlé razicí práce proběhly v propojovacích tunelech nájezdových, resp. výjezdových ramp, propojkách tunelů hlavní trasy a výklencích pro technologii tunelu.

V tunelové rampě RT213 se ražba dostala do úseku, kde již původní projektová dokumentace předpokládala pouze 1,5 m mocné skalní nadloží. Přerušeni ražeb před touto problematickou sekci bylo plánované a očekávané. Jedná se o úsek mezi staničeními km 0,690 – km 0,740, (na obr. 1 vyznačeno červeně). Zde byla v první polovině roku z povrchu provedena trysková injektáž za účelem zesílení celého kritického úseku, aby bylo možné razit pomocí trhačích prací se záběrem min. 3 m. Celkem bylo provedeno 740 pilířů tryskové injektáže o průměru 1500 mm, v délce 3560 m. Podle dat, získaných z provedených jádrových vrtů, je výsledek injekčních prací velice uspokojivý, avšak teprve samotná ražba, která do zpevněného prostředí vstoupí v únoru 2019, potvrdí účinek provedené tryskové injektáže.

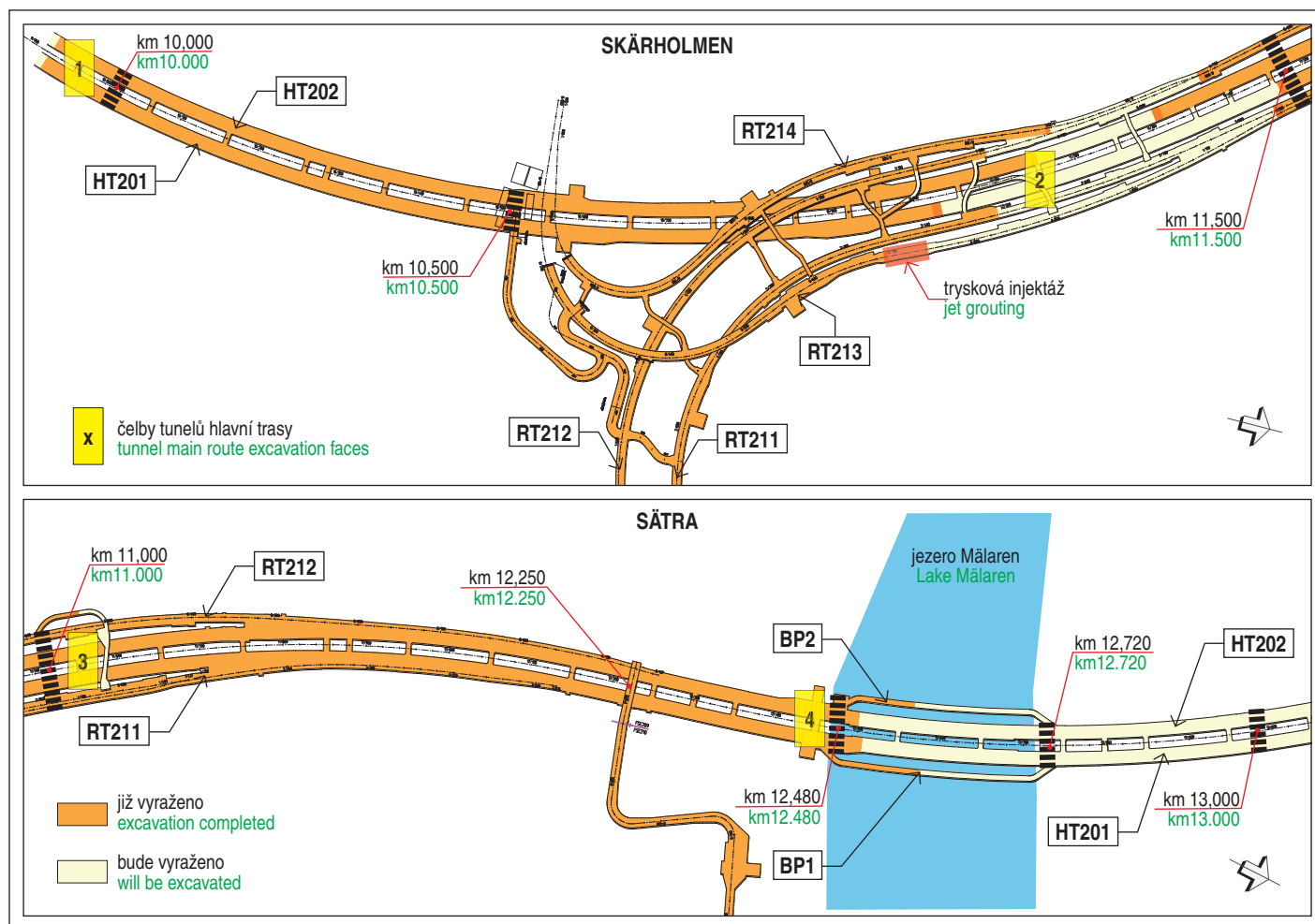
V oblasti Skärholmen byla nejproblematictější ražba tunelové rampy RT214, kde problémy s přitékající vodou střídala zhoršená geologie v podobě poruchových zón značné moci, komplikující vrtání a zejména aplikaci stříkaného drátkobetonu. Tato, mezi razicí nepopulární čelba, v roce 2018 postoupila pouze o 60 m. Přehled výkonů za rok 2018 je uveden v tab. 1.

1. FSE209 PROJECT DEVELOPMENT IN 2018

In the locality of Sättra, excavation operations in HT201 and HT202 tunnels on the main route in the north direction were suspended and it was also impossible to work on all tunnel faces in the locality of Skärholmen due to worsened geology; despite this fact, the average weekly advance rate of over 100m was achieved. The aggregate volume of muck excavated during the whole year amounted to 527,000m³. This volume represents approximately 5.5km of tunnels. The greatest advance was achieved by the main-route tunnels, approximately 1.5km each, which have been driven from four faces. They are marked in Fig. 1 as faces 1 and 2 in the locality of Skärholmen and faces 3 and 4 in the locality of Sättra. The excavation of tunnel ramps RT211 and RT212 advanced approximately 700m. Remaining excavation operations took place in cross-passage tunnels for entry and exit ramps, cross passages between main-route tunnels and niches for tunnel equipment.

In tunnel ramp RT213, the excavation got to a section passing through an area where only 1,5m rock overburden was expected and long foreseen. Therefore the suspension of the excavation before the problematic section was planned and expected. It is a section between chainage km 0.690–0.740 (marked red in Fig. 1) where jet grouting was carried out in the first half of the year with the objective to strengthen the whole critical section so that it was possible to excavate the tunnel using blasting, with minimum excavation round lengths of 3m. The total of 740 jet grouted pillars 1500mm in diameter, 3560m long in total, were carried out. According to the data obtained from cored boreholes, the result of the grouting operations is best satisfactory, the effect of the completed grouting will be confirmed only by the excavation, which will enter the strengthened environment in February 2019.

The most problematic tunnel excavation in the area of Skärholmen was the excavation for tunnel ramp RT214, where the problems with water inflows were replaced by problems with



Obr. 1 Situace projektu FSE209 s barevně vyznačeným stavem ražeb k lednu 2019
Fig. 1 FSE209 project layout with the state as of January 2019 marked in colours

Nejvíce změn však zaznamenala ražba tunelů hlavní trasy v oblasti Sättra, a to v části procházející pod jezerem Mälaren, kde realizační dokumentace nebyla dopracována do detailů zastihujících všechny možné scénáře. Koncem roku 2017 proto investor, státní organizace Trafikverket, vydal instrukci k přerušení razicích prací v tunelech hlavní trasy HT201 a HT202, zhruba ve staničení km 12,480, v místě začátku potenciálně komplikovaného úseku pod jezerem. Ještě v prosinci 2017 byl proveden doplňkový geologický průzkum, spočívající v jádrových vrtech, prováděných v obou tunelech hlavní trasy. Vrtů dlouhé až 200 m vedené paralelně s osou trasy potvrdily, že se v úseku nacházejí poruchová pásma většího rozsahu, než s jakými se počítalo v původní realizační dokumentaci. Na základě informací, získaných doplňkovým geologickým průzkumem, bylo přehodnoceno původní řešení pro překonání úseku pod jezerem a pod vedením projektanta Björna Stilleho byl v po-

geology having the form of significantly thick graphitic zones complicating the drilling work and, first of all, the application of steel fibre reinforced shotcrete. This face, unpopular among tunnel workers, advanced only 60m in 2018. The summary of excavation advance lengths achieved in 2018 is presented in Table 1.

The majority of changes were recorded during the excavation of the main-route tunnels in the location of Sättra, in the part passing under Lake Mälaren, where the original design had not covered all details capturing all possible scenarios. For that reason the state organisation of Trafikverket, the client, issued an instruction to interrupt the tunnelling operations in the HT201 and HT202 main-route tunnels, approximately at chainage km 12,480, where the potentially complicated section under the lake started. Still in December 2017, a complementary survey lying in cored boreholes was carried out in both main-route tunnel tubes. The boreholes, up

Tab. 1 Přehled vyražených metrů a objemu vytěžené rubaniny v jednotlivých tunelech v roce 2018

Table 1 Summary of excavation advance lengths and volumes of muck removed from individual tunnels in 2018

Výkony ražeb v roce 2018 Tunnel excavation advance lengths in 2018									
tunel tunnel	RT211 RT211	RT212 RT212	RT213 RT213	RT214 RT214	HT201 HT201	HT202 HT202	BP1 BP1	BP2 BP2	ostatní others
vyraženo (m) excavation advance lengths (m)	555 555	862 862	114 114	58 58	1 305 1,305	1 572 1,572	141 141	104 104	751 751
vytěženo (m³) volume of muck (m³)	49 380 49,380	63 221 63,221	12 098 12,098	2 069 2,069	170 716 170,716	187 696 187,696	5 585 5,585	3 619 3,619	32 683 32,683

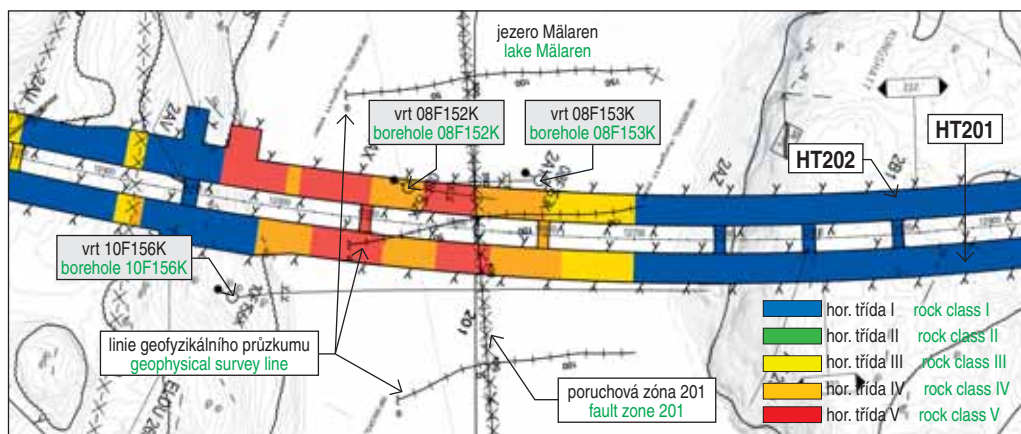
měrně krátké době stávající projekt doplněn o řešení pro nově zjištěný rozsah a charakter horninových tříd IV a V. Z důvodu speciálních technologií, které byly potřebné pro další postup ražeb podle revidovaného projektu, bylo časově náročné razicí práce znovu obnovit. Ražby na tunelech hlavní trasy HT201 a HT202, za staničením km 12,480, byly opět zahájeny v létě 2018.

Z důvodu značného rozsahu změn v projektové dokumentaci byla upravena i smlouva o dílo, z jejíhož rozsahu prací byla vyňata ražba pasáže pod jezerem Mälaren. Práce na tomto úseku byly ošetřeny smlouvou v režimu Cost & Fee, což znamená, že investor se mnohem více angažuje a spolupracuje s dodavatelem na ekonomickém řízení projektu.

V květnu roku 2018 byly započaty také zemní práce a ukládání potrubí vodovodní, kanalizační a drenážní sítě. Dále byly zahájeny betonáž multikanálu pro kabeláž v tunelu, instalace hydroizolace v technologických výklencích a realizace betonových konstrukcí v těchto výklencích.

2. ÚSEK POD JEZEREM MÄLAREN A STRUČNÝ POPIS VÝCHOZÍHO PROJEKTOVÉHO ŘEŠENÍ

Projekt FSE 209 zahrnuje část trasy obchvatu, mezi staničeními km 9,935 – km 13,955, přičemž ražba probíhá současně ve dvou lokalitách, jmenovitě Skärholmen ve staničení km 10,500 a Sättra ve staničení km 12,250. Každý z hlavních tunelů HT201 a HT202 je tak možné razit na čtyřech čelbách až do chvíle proražení tunelů mezi Skärholmenem a Sättrou. Po proražce budou veškeré razicí práce probíhat v úseku mezi Sättrou a severní hranicí projektu, a to pouze na dvou čelbách. Jakékoli zdržení v úseku mezi Sättrou a severní hranicí projektu (km 12,250 a km 13,955) tak bude mít přímý dopad na termín dokončení ražeb a následných prací na definitivním ostění.



Obr. 2 Původní prognóza horninových tříd v úseku pod jezerem Mälaren s vyznačenými místy provedených jádrových vrtů, seismického průzkumu a linie zmapované poruchové zóny 201

Fig. 2 Original prognosis for rock quality classes in the section under Lake Mälaren with locations of cored boreholes, seismic survey and lines of the mapped fault zone 201 marked in it

to 200m long, led in parallel with the route axis, confirmed that fault zones with the extent larger than those expected in the original design documents, are encountered in the section. The original solution for overcoming the section under the lake was reconsidered on the basis of the information obtained by the complementary geological survey. The existing design was complemented under the leadership of the designer, Björn Stille, in a relatively short time, by a solution for the newly determined extent and character of rock quality classes IV and V. For the reason of special technologies required for the following excavation procedure according to the revised design, it was a quite time-consuming operation to restart the tunnelling again. The excavation in main-route tunnels HT201 and HT202 behind chainage km 12.480 again commenced in summer 2018.

The contract was modified with respect to the significant extent of changes in the design documents. The excavation of the section under Lake Mälaren was removed from the contractual scope of works. The work on this section was solved by a Cost & Fee contract, which means that the client is much more involved and collaborates with the contractor on the economic management of the project.

Tab. 2 Charakteristické parametry klasifikace Q-systém v provedených vrtech

Table 2 Characteristic parameters of classification Q-system in the completed boreholes

vrt borehole	délka [m] length [m]	RQD (min/max, median/průměr) RQD (min/max, median/average)	J_n (min/max, median/průměr) J_n (min/max, median/average)	J_r (min/max, median/průměr) J_r (min/max, median/average)	J_a (min/max, median/průměr) J_a (min/max, median/average)	Q_{bas} (min/max, median/průměr) Q_{bas} (min/max, median/average)
08F152K 08F152K	41 41	10/100, 82/75 10/100, 82/75	1/20, 3/5 1/20, 3/5	1/4, 3/2,6 1/4, 3/2,6	0,75/6, 2/2,4 0,75/6, 2/2,4	0,3/120, 15/19 0,3/120, 15/19
08F153K 08F153K	56 56	10/100, 72/64 10/100, 72/64	1/20, 6/8 1/20, 6/8	0,5/4, 2/2,5 0,5/4, 2/2,5	0,75/8, 2/2,5 0,75/8, 2/2,5	0,1/300, 5/44 0,1/300, 5/44
08F156K 08F156K	289 289	10/100, 84/79 10/100, 84/79	1/6, 6/6 1/6, 6/6	0,5/4, 2/2,5 0,5/4, 2/2,5	0,75/10, 2/2,2 0,75/10, 2/2,2	0,8/533, 10,7/29,5 0,8/533, 10,7/29,5

Pod jezerem Mälaren trasa obchvatu prochází právě touto kritickou částí, tj. v km 12,480 – km 12,720. Již výchozí projektová dokumentace předpokládala v této 240 m dlouhé pasáži pod jezerem nepříznivé geologické podmínky. Nacházejí se zde převážně horninové třídy IV, V a částečně zmapovaná poruchová zóna, značena jako 201, jak je patrné z obr. 2. Podkladem pro tuto prognózu byly tři jádrové vrty do dna jezera, jejichž pozice je rovněž vyznačena na obr. 2, a dále seismické a geoelektrické profilování pro lokalizaci úrovně skalního podloží. Data získaná z průzkumných vrtů shrnuje tab. 2.

Podle původní realizační dokumentace byla ražba v tomto problematickém úseku významně omezena opatřeními, vyplývajícími z výše uvedených předpokládaných geologických podmínek. V horninové třídě IV se jednalo o průzkumné jádrové předvrty a vrtané sondy do předpolí tunelu pro ověření kvality horninového prostředí a výšky nadloží, které nesmí být menší než 15 m. Zpráva inženýrsko-geologického průzkumu uvádí, že minimální výška nadloží je 25 m. Dalším opatřením jsou 6 m dlouhé jehly, Ø 32 mm, vrtané pod úhlem 20° do předpolí, v oblasti stropu kaloty a částečně také stěn tunelu s osovou vzdáleností 0,5 m. Každá jehla bude osazena tak, aby minimálně 0,5 m svorníku čnělo z vrtu. Vyčnívající část svorníku bude ohnuta a přikotvena k výrubu. Jehlování se provádí při každém záběru, který je omezen na délku 3 m. Výrub je v této horninové třídě členěn na tzv. pilotní tunel, který může být 5–8 m široký a následnou dobírku do plného profilu. K zajištění výrubu předepisuje projektová dokumentace minimálně 50 mm stříkaného drátkobetonu a radiální kotvení až 6 m dlouhými SN kotvami. V horninové třídě V je dále upraveno jehlování, které se provádí ve stropě i stěnách tunelu, a to s menšími rozestupy 0,3 m. Záběr je zkrácen na 2,5 m a pilotní tunel nesmí být širší než 6 m. K zajištění výrubu slouží kombinace stříkaného drátkobetonu, tloušťky minimálně 100 mm, a radiálního systémového kotvení v rastru 1,5×1,5 m, 6 m dlouhými kotvami. Geotechnický monitoring, v podobě konvergenčních profilů pro sledování stability výrubu, byl plánován pouze v horninové třídě V.

3. DOPLŇKOVÝ PRŮZKUM A NOVÉ PROJEKČNÍ ŘEŠENÍ

V prosinci roku 2017 se ražby tunelů hlavní trasy HT201 a HT202 dostaly do staničení km 12,480, kde byla stanovena hranice začátku pasáže pod jezerem Mälaren. Z tohoto místa byly zahájeny průzkumné jádrové vrty v obou tunelových troukách.

V tunelu HT201 byl proveden jádrový vrt v délce 201 m. Zhruba od staničení km 12,505 je možné pozorovat mokrou poruchovou zónu, tvořenou zejména rozrušeným grafitem a kataklazitem, mocnou 30 m (obr. 3). Podobně rozrušené zóny se v úseku vyskytují ještě několikrát, přičemž zbylé horninové prostředí mezi nimi tvoří středně a silně rozpukaná rula s různě frekvencovanými grafitovými vrstvami malé mocnosti, kolem kterých je obvykle možné pozorovat zvlhlý výnos jádra. V tunelu HT202 byl proveden 88 m dlouhý vrt, který ve své délce zastihuje v podstatě totožné podmínky, pouze v mírně jiných staničeních. Na základě těchto vstupních informací byla připravena revize projektu, jež bere v úvahu také fakt, že se jedná o časově kritický úsek. Investor se rozhodl, v předstihu před hlavními tunely, vyrazit pod jezerem dvojici průzkumných tunelů, zvaných Bypass I a Bypass II (BP1 a BP2), a to po obou vnějších stranách tunelů hlavní trasy. Tyto dva nové tunely mají nejen funkci průzkumnou, ale jelikož jsou to díla

In May 2018, even earthworks, laying water pipelines, sewerage and drainage pipes commenced. In addition, concreting of a multi-duct for cabling in the tunnel, installation of waterproofing layers in technical niches and execution of concrete structures in the niches started.

2. SECTION UNDER LAKE MÄLAREN; BRIEF DESCRIPTION OF INITIAL DESIGN SOLUTION

The FSE 209 project comprises a part of the bypass route between chainages km 9.935–13.955, with the tunnel excavation proceeding in two locations, namely Skärholmen at chainage km 10.500 and Sättra at chainage km 12.250. Each of the main-route tunnels, HT 201 and HT 202, can be driven from four faces until the tunnels between Skärholmen and Sättra are broken through. After the breakthrough, all tunnelling operations will proceed in the section between Sättra and the northern boundary of the project only from two tunnel faces. Any delay in the section between Sättra and the northern boundary of the project (chainage km 12.250 and km 13.955) will have a direct impact on the date of the completion of excavation and subsequent work on the final lining.

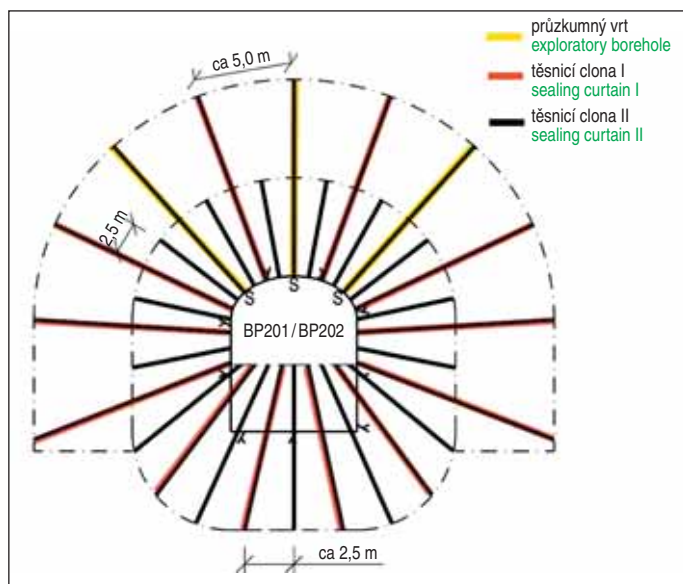
The bypass route runs under Lake Mälaren right through this critical part, i.e. between chainage km 12.480 – km 12.720. Already the initial design documents expected unfavourable geological conditions to be encountered in this 240m long section under the lake. There are mainly rock classes IV and V there and a partially mapped fault zone marked as 201, as obvious from Fig. 2. The sources for this prognosis were provided by three cored boreholes into the lake bottom, the positions of which are marked in Fig. 2, and seismic and geoelectric profiling was carried out for locating the bedrock level. The data obtained from the survey boreholes is summarised in Table 2.

According to the original detailed design, the excavation in this problematic section was significantly restricted by measures following from the above-mentioned expected geological conditions. In rock quality class IV they comprised exploratory cored boreholes ahead of the excavation face and probes into the face-advance core required for the verification of the quality of rock environment and the overburden height, which must not be smaller than 15m. The report on the engineering geological survey states that the minimum height of the overburden amounts to 25m. Another measure prescribes spilling – 6m long spiles 32mm in diameter – to be drilled at 0.5m spacing into the advance core at an angle of 20°, in the area of the top heading crown and partially even into the tunnel sidewalls. Each spile will be installed with at least 0.5m of the bolt length protruding from the borehole.



Obr. 3 Výnos jádra průzkumného vrtu provedeného v tunelu hlavní trasy HT201 s vyznačeným počátkem zhoršeného horninového prostředí

Fig. 3 Cores recovered from the exploratory borehole carried out in main-route tunnel HT201, with the beginning of worsened rock environment marked in it



Obr. 4 Vrtné schéma průzkumných a injekčních vrtů

Fig. 4 Drilling pattern for exploratory and grouting boreholes

výrazně menšího profilu a dočasného charakteru, nejsou z pohledu ražby tak časově náročná. Průzkumné tunely mají tedy poskytnout dostatek informací pro průběžnou optimalizaci ražeb tunelů hlavní trasy a zejména umožnit co nejrychlejší pokračování ražeb a následných prací na definitivním ostění za jezerem Mälaren.

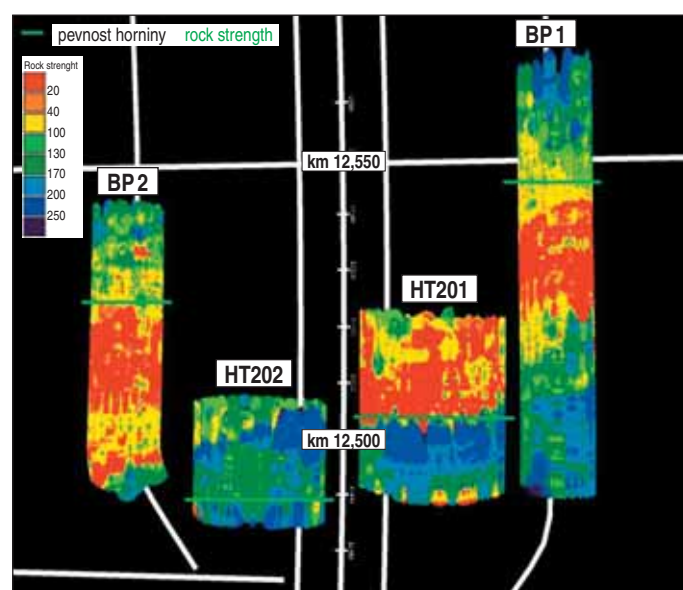
Průzkumné tunely jsou projektovány tak, že jejich dno je vedeno o 2 m níže, než dno hlavních tunelů a horninový pilíř mezi hlavním a průzkumným tunelem je 11,4 m široký. Jedná se o tunely s profilem 42,5 m², dlouhé 285 m, v případě BP1 a 252 m v případě BP2. Součástí ražby průzkumných tunelů je kontinuální zkoumání předpolí a nadloží tunelu pomocí 18 m dlouhých průzkumných vrtů, vrtaných skrze uzavíratelný ventil, kterým je v případě potřeby možné zastavit přítoky vody do tunelu. Tyto průzkumné vrtý jsou součástí vějíře těsnicí injektáže, jedná se tedy zároveň o vrtý pro utěsnění předpolí, tzv. pregrouting (obr. 4). Ve vrtech se provádí měření přítoku vody, které je rozhodující pro způsob provádění následných injekčních prací. Je-li naměřen přítok menší než 50 l/min, provede se injektáž prvního vějíře těsnicí clony injekční směsí na bázi cementu s vodním součinitelem 0,7 (pozn. projekt předepisuje tři receptury, a to s vodním součinitelem 0,85, 0,7 a 0,6). Následuje vrtání druhého těsnicího vějíře, jehož vrtý jsou vrtány blíže k výrubu tunelu. Poté injektáž pomocí směsi č. 1 s vodním součinitelem 0,85. Těsnost masivu se nakonec ověřuje kontrolními vrtý, v nichž je provedena vodní tlaková zkouška, tzv. Lugeon test (Lugeonův koeficient je definován jako absorpce vody měřená v litrech na metr testovaného vrtu za minut při tlaku 1 MN/m²). Injekční práce se považují za úspěšné, je-li v kontrolních vrtech naměřena hodnota Lugeonu menší než 0,2. V situaci, kdy je v průzkumném vrtu naměřen přítok větší než 50 l/min, se v prvním kole injekčních prací používá směs č. 3, s vodním součinitelem 0,6. Po dokončení prvního kola se ověřuje účinek injekčních prací vodní tlakovou zkouškou v kontrolním vrtu. V druhém kole injekčních prací se používá směs č. 2. Po dokončení druhého kola se opět vrtá kontrolní vrt a provádí se Lugeon test. Pro případy extrémních přítoků, či neúčinné injektáže pomocí cementových injekčních médií, je připravena chemická injektáž dvousložkovou polyuretanovou pryskyřicí CarboPur WF. Veškeré vrtý pro injekční práce jsou využívány ke sběru MWD dat (Measurement While Drilling), která slouží jako doplňující nástroj geologa pro klasifikaci horninového prostředí. Grafické znázornění MWD dat je zobrazeno na obr. 5, kde je možné

The protruding part of the bolt will be bent and anchored to the excavation surface. The spillings carried out at each excavation round, the length of which is limited to 3m. The excavation sequence for this rock quality class is divided into the so-called pilot tunnel, which can be 5–8m wide, and subsequent completion of the excavation to the full profile. The design documents prescribe a 50mm thick layer of steel fibre reinforced shotcrete and radial SN anchors up to 6m long to support the excavation. In rock class V, the installation of spiles is prescribed for the tunnel roof and sidewalls, with the spacing of spiles reduced to 3m. The excavation round length is reduced to 2.5m and the pilot tunnel must not be wider than 6m. The excavation support is provided by a combination of steel fibre reinforced shotcrete at least 100mm thick and systematic radial anchoring using 6m long anchors installed on a 1.5x1.5m grid. Geotechnical monitoring in the form of convergence stations for monitoring of the excavation stability was planned only for rock class V.

3. SUPPLEMENTARY GEOLOGICAL SURVEY AND NEW DESIGN SOLUTION

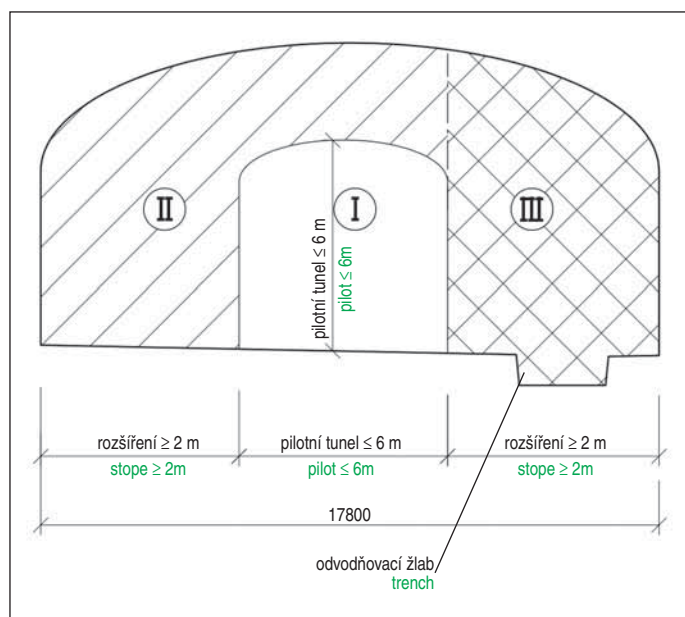
In December 2017, the excavation of main-route tunnels HT201 and HT202 arrived at chainage km 12.480, where the border of the section under Lake Mälaren was determined. The work on the exploratory cored boreholes started from that location in both tunnel tubes.

A 201m long cored borehole was carried out in HT201 tunnel. It is possible approximately from chainage km 12.505 to observe a 30m thick wet zone formed first of all by disintegrated graphite and cataclase (see Fig. 3). Similarly disintegrated zones occur repeatedly in this section, with the remaining rock environment formed by medium and heavily fractured gneiss with variously frequented small thickness graphite layers around which it is usually possible to observe wetted recovered core. An 88m long borehole was carried out in the HT202 tunnel. It encounters in essence identical conditions within its length, only in slightly different chainages. A revision of the design was prepared on the basis of this input information. It even takes a fact into consideration that



Obr. 5 Grafická prezentace MWD dat všech vrtů v pasáži pod jezerem Mälaren, příčnou zelenou čarou je naznačena pozice čelby v jednotlivých tunelech v listopadu 2018

Fig. 5 Graphic presentation of MWD data from all boreholes in the section under Lake Mälaren; the locations of tunnel faces in individual tunnels in November 2018 are marked by transverse lines

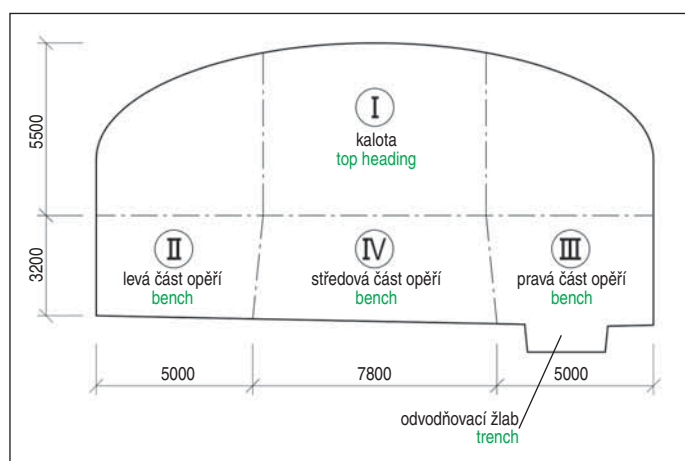


Obr. 6 Členění výrubu tunelu hlavní trasy v úseku pod jezerem Mälaren, v horninové třídě IV

Fig. 6 Excavation sequence for main-route tunnel in the section under Lake Mälaren in rock quality class IV

porovnat barevně odlišenou kvalitu horninového prostředí na škále barev od modré po červenou, kde modrá představuje zdravé skalní prostředí.

Ražba průzkumného tunelu v prostředí horninové třídy I až IV probíhá pod ochranou 8 m dlouhých jehel, Ø 32 mm, osově vzdálených 0,5 m. Ty jsou instalovány do stropu tunelu po každém záběru. Razí se na celý profil díla a záběr je omezen na 3 m. Po každém kroku je výrub zajištěn 100 mm stříkaného drátkobetonu a systémovými PC kotvami, délky 3 m, v rastru 1×2 m. V horninové třídě V jsou jehly nahrazeny lehkým mikropilotovým deštníkem, vrtaným po celém obvodu tunelu. Jedná se o systém Ischebeck TITAN 73/45, délky 15 m. Ražba kaloty probíhá v předstihu 10 m před dnem, přičemž záběr je dlouhý 3,3 m. Čelba kaloty je kontinuálně stabilizovaná deseti čelbovými kotvami, dlouhými 15 m, vrtanými ve třech řadách. Výrub je zajištěn po každém záběru 50mm vrstvou stříkaného drátkobetonu, na kterou jsou instalovány armovací sítě NK500AB 8150 (betonářská, žebírková výztuž s mezí kluzu 500 MPa, 8 mm prut, oko 150×150 mm). Následuje druhá vrstva stříkaného betonu a systémové kotvení PC kotvami délky 3 m.



Obr. 7 Členění výrubu tunelu hlavní trasy v úseku pod jezerem Mälaren, v horninové třídě V

Fig. 7 Excavation sequence for main-route tunnel in the section under Lake Mälaren in rock quality class V

it is a section critical in terms of time. The client decided to drive a couple of exploratory tunnels under the lake, in advance of the main-route tunnels, named Bypass I and Bypass II (BP1 and BP2), running along both external sides of the main-route tunnels. The new tunnels have not only the exploratory function, but they are not as demanding in terms of the excavation time because their cross-sections are smaller and they only have temporary meaning. The exploratory tunnels are therefore required to provide information sufficient for continual optimisation of the excavation of the main-route tunnels and, first of all, to allow for as fast as possible continuation of the excavation and subsequent work operations on the final lining beyond Lake Mälaren.

The design of the exploratory tunnels requires that their bottoms are by 2m lower than the bottoms of the main-route tunnels and the rock pillar between the main-route tunnel and the exploratory tunnel is 11.4m wide. The cross-sectional area of the tunnels amounts to 42.5m², their lengths amount to 285m in the case of BP1 and 252m in the case of BP2. The excavation of the exploratory tunnels comprises continual exploration of the face-advance core and the tunnel overburden by means of 18m long exploratory holes drilled through a blow out preventer, by which it is possible to stop water inflows into the tunnel if necessary. The exploratory boreholes are parts of a grouting fan, it means that they at the same time fulfil the function of sealing the face-advance core, the so-called pre-grouting (see Fig. 4). The water inflow rates are measured in the boreholes. They are crucial for the procedure as far as the subsequent grouting operations are concerned. If the inflow rate is lower than 50L/min, the first fan of grouting screen is carried out using cement grout with the cement-water ratio of 0.7 (note: the design prescribes three formulae with water-cement ratios of 0.85, 0.7 and 0.6, respectively). Drilling for the second fan follows. The holes are drilled closer to the tunnel excavation profile. Subsequently grouting mix No. 1 with the water-cement ratio of 0.85 is applied. The tightness of the rock mass is finally verified by control boreholes, in which the hydraulic test, the so-called Lugeon test, is carried out (Lugeon coefficient is defined as absorption of water measured in litres per metre of the borehole being tested per minute at the pressure of 1MN/m²). A grouting operation is considered to be successful when the Lugeon value measured in the control boreholes is lower than 0.2. In a situation where the inflow rate measured in the exploratory borehole is higher than 50L/min, grouting mix No. 3 with the water-cement ratio of 0.6 is used in the first round of the grouting operation. After completion of the first round, the effect of the grouting operation is verified by a hydraulic pressure test in the control borehole. Mixture No. 2 is used in the second round of the grouting operation. After the second round is completed, a control hole is again drilled and the Lugeon test is carried out. Chemical grouting with CarboPur WF two-component polyurethane resin is prepared for cases of extreme inflow rates or grouting with cement grouting media ineffective. All boreholes for grouting purposes are used for collecting MWD data (Measurement While Drilling), which is used as a supplementary tool of the geologist for rock mass classification. Graphical presentation of the MWD data is in Fig. 5, where it is possible to compare the rock environment quality distinguished on a scale of colours ranging from blue up to red, where blue colour represents sound rock environment.

The exploratory tunnel is driven through an environment formed by rock quality classes I through to IV, under the protection provided by 8m long spiles 32mm in diameter, spaced at 0.5m. The spiles are installed into the tunnel roof after each excavation round. The full-face excavation round length is limited to 3m. After each step,

PC kotvy jsou mechanicky upínané injektovatelné svorníky, přičemž PC představuje obchodní označení výrobce (Pretec Combination). Součástí ražby průzkumných tunelů je měření konvergencí. V úseku pod jezerem budou v každém průzkumném tunelu osazeny čtyři konvergenční profily, a to ve vzdálenostech 60 m. První varovný stav v horninové třídě V nastává, dosáhne-li přetvoření ve stropě 2 mm, nebo 15 mm ve stěně tunelu.

Ražba tunelů hlavní trasy, stejně jako u průzkumných tunelů, začíná průzkumnými vrty a těsnící injektáží předpolí. Celý proces je analogický s průzkumnými tunely. Práce se liší pouze v počtu průzkumných, injekčních a kontrolních vrtů a provedených kontrolních zkoušek, což je dáno plochou profilu tunelu hlavní trasy, dosahující 175 m². V horninových třídách IV a V, které jsou předpokládány v celé délce úseku, je v tunelech hlavní trasy vyprojektován 15 m dlouhý mikropilotový deštník, sestávající z 65 mikropilot, rozměru 10/139,7 (10 mm tloušťka stěny piloty, Ø piloty 139,7 mm), osově vzdálených 0,5 m, vrtaných do stropu i stěn tunelu. V horninové třídě IV je nejdříve vyražen pilotní tunel, široký a vysoký 6 m, v délce 10 m a následně je v 2,5m záběrech tunel nadvakrát vyražen do plného profilu, jak je patrné z obr. 6. Výrub je po každém záběru stabilizován 200 mm stříkaného drátkobetonu, aplikovaného ve čtyřech 50 mm vrstvách, na které jsou postupně instalovány dvě vrstvy vyztužovacích sítí NK500AB 8150 a radiální SN kotvy dlouhé 5 m, v rastru 1×2 m. V horninové třídě V je výrub ještě více členěný, jak je zobrazeno na obr. 7. V horších geologických podmínkách může být kalota rozdělena až na tři části. Opěři je vždy rozděleno na tři části, přičemž jeho středová část, dlouhá 4 m, je ponechávána jako přítěžovací prvek, stabilizující čelbu. Stejně jako u průzkumných tunelů je čelba kaloty zajištěna 15m samozávrtnými kotvami (Ischebeck Titan), vrtanými každých 10 m. Prvky zajištění stěn a stropu jsou totožné jako v horninové třídě IV. Kromě sedmi profilů pro měření konvergencí je geotechnický monitoring v tunelu doplněn o inklinometrické a extenzometrické měření, která budou součástí prvních dvou navrtaných mikropilotových deštníků.

the excavation is supported by a 100mm thick layer of steel fibre reinforced shotcrete and 3m long systematic PC anchors installed on a 1×2m grid. In rock quality class V, spiles are replaced by light-weight pipe roof umbrella installed around the whole tunnel circumference. It is the Ischebeck TITAN 73/45 system 15m long. The top heading excavation proceeds in an advance of 10m ahead of the bottom excavation; the excavation rounds are 3.3m long. The top heading excavation face is continually stabilised by ten 15m long core-face anchors installed in three rows. The excavation is supported after each round by a 50mm thick layer of steel fibre reinforced shotcrete and welded mesh NK500AB 8150 (concrete reinforcement deformed bars with the yield strength of 500MPa, 8mm in diameter; 150×150mm meshes). The second shotcrete layer and systematic anchoring using 3m long PC anchors follows. The PC anchors are mechanically expanded groutable rock bolts, where PC represents manufacturer's commercial marking (Pretec Combination). Measurement of convergences is also part of the excavation of the exploratory tunnels. In the section under the lake, four convergence stations will be installed in each exploratory tunnel at intervals of 60m. The first alert level in rock quality class V takes place when the deformation in the roof and the tunnel sidewall reaches 2mm and 15mm, respectively.

Driving the main-route tunnels, as well as driving the exploratory tunnels, starts by exploratory boreholes and grouting into the face-advance core. The whole process is analogous to the exploratory tunnels. The work operations differ only in the quantity of exploratory, grouting and control boreholes and the numbers of control tests. It is given by the area of the cross-sectional area of the excavation of the main-route tunnels reaching 175m². In rock quality classes IV and V, which are expected throughout the length of the section, 15m long pipe roof umbrella consisting of 65 pieces of 10/139.7 tubes (10mm thick walls, 139.7mm in diameter) installed into the tunnel roof and sidewalls at 0.5m spacing). In rock quality class IV, a pilot tunnel is driven first. It is 6m wide and 6m high, 10m long. The excavation is subsequently enlarged to the full profile in two steps with the excavation rounds 2.5m long (see Fig. 6). After each advance the excavation is stabilised by a 200mm thick layer of steel fibre reinforced shotcrete, which is applied in

four 50mm thick layers, with two layers of NK500AB 8150 welded mesh gradually fixed to them and 5m long radial SN anchors installed on a 1×2m grid. In rock quality class V, the excavation sequence is longer (see Fig. 7). In worse geological conditions the top heading can be divided even into three parts. The bench is always divided into three parts, with its 4m long middle part left in place as a surcharging element stabilising the excavation face. As in the case of the exploratory tunnels, the top heading excavation face is supported with 15m long self-drilling anchors (Ischebeck Titan), installed after completion of each 10m long excavation. The elements of the support of the sidewalls and the roof are identical with those applied in rock quality class IV. In addition to seven



Graf 1 Průběh konvergenčních měření v tunelu BP1 ve staničení km 0,070
Graph 1 History of convergence measurements in BP1 tunnel at chainage km 0.070



Obr. 8 Vrtání mikropilotového deštníku v tunelu hlavní trasy HT201
Fig. 8 Drilling for pipe roof umbrella in main-route tunnel HT201

4. ZAHÁJENÍ RAŽEB POD JEZEREM PODLE REVIDOVANÉ PROJEKTOVÉ DOKUMENTACE

Práce na ražbách průzkumných děl podle nových podkladů byly zahájeny v létě roku 2018, kdy byl navrtán první mikropilotový deštník typu Ischebeck v průzkumném tunelu BP1. K vrtání mikropilot bylo použito jednolafetové vrtné soupravy Klemm 806-3, se kterou bylo v malém prostoru průzkumného tunelu vrtání obtížné. Trvalo několik týdnů, než se podařilo odstranit prvotní problémy, např. najít vhodnou vrtnou korunku či zajistit neustálý geodetický servis pro navigaci vrtání. Nakonec se výkony vrtání ustálily na čtyřech mikropilotách za den a podařilo se najít dobrý rytmus mezi ražbou a vrtáním mikropilot, takže bylo možné téměř plynule operace střídát mezi průzkumnými tunely BP1 a BP2, a to přibližně každé dva týdny. V obou průzkumných tunelech byly navrtány tři kompletní mikropilotové deštníky, pomocí kterých ražba prošla úvodní 30 m dlouhou oslabenou zónou. Za staničením km 0,091 v BP1 a km 0,053 v BP2 se horninové prostředí postupně zlešovalo a bylo proto možné, ve shodě s projektovou dokumentací, ubírat výztuže a zrychlovat ražbu. Zlepšení je patrné také ze získaných MWD dat, prezentovaných na obr. 5. Díky tomu, že investor rychle reagoval na skutečně zastižené geologické podmínky, se během posledních šesti měsíců způsob ražby průzkumných děl, ve spolupráci s projektantem, poměrně znatelně zoptimalizoval. Například byla upravena kritéria injekčních prací tak, aby bylo v prokazatelně těsném horninovém prostředí možno upustit od druhého kola injekce. Dále byl prodloužen záběr na 4 m a v horninové třídě lepší než IV již nebylo nutné instalovat jehly. Všechna tato opatření zrychlila postupy ražeb v průměru o 3 m týdně. Konvergenční měření v obou průzkumných dílech ukazují, že prostředí na ražbu reaguje podle předpokladů projektanta, a to i po přijetí výše popsanych opatření. Na grafu 1 je znázorněn průběh konvergenčních měření v tunelu BP1, ve staničení km 0,070, kde jsou osazeny tři měřické body. Tento konvergenční profil se nachází v první třetině poruchové zóny, která byla ražena nejdříve v kalotě. Koncem září 2018 bylo v těchto místech dobráno dno tunelu, což je možné v grafu pozorovat skokovou změnou relativní délky mezi všemi body. Bylo dosaženo hranice prvního varovného stavu (strop – 2 mm, stěny – 15 mm) a ve stropě následně i druhého varovného stavu (strop – 4 mm, stěny – 25 mm). S postupem čelby se konvergence postupně uklidňovaly. Podobný vývoj byl zaznamenán také v tunelu BP2, kde však

convergence measurement stations, the geotechnical monitoring in the tunnel is supplemented by inclinometer and extensometer measurements which will be parts of the initial two pipe roof umbrella rounds.

4. COMMENCEMENT OF TUNNELLING UNDER THE LAKE ACCORDING TO REVISED DESIGN DOCUMENTS

The work on the excavation of exploratory workings according to the new design documents commenced in summer 2018, when drilling for the first Ischebeck pipe roof umbrella was carried out in the exploratory tunnel BP1. Boreholes for the pipe roof umbrella were carried out using a Klemm 806-3 single-boom drilling rig. Its operation in the small space of the exploratory tunnel was difficult. It took several weeks before the initial problems, for example finding a suitable drill bit or ensuring permanent geotechnical service for the navigation of drilling operations, were removed. Finally the drilling performance stabilised on four micropiles per day and a good rhythm between the excavation and drilling for the micropiles was successfully found. It was therefore possible to alternate the operations between the exploratory tunnels BP1 and BP2 nearly fluently, approximately every two weeks. Drilling for three complete pipe roof umbrella sets was carried out in both exploratory tunnels. The excavation passed under this protection through the initial 30m long weakness zone. Behind chainage km 0.091 in BP1 and km 0.053 in BP2 the rock environment gradually improved and it was therefore possible, in compliance with design documents, to reduce the support and accelerate the excavation. The improvement is even obvious from the MWD data presented in Fig. 5. Owing to the fact that the client quickly responded to the actually encountered geological conditions, the process of excavation of the exploratory workings was relatively noticeably optimised in collaboration with the designer during the last six months. For example, the criteria for grouting operations were modified so that it was possible in the provably tight rock environment to eliminate the second round of grouting.

In addition, the excavation round length was extended to 4m and, in rock quality class better than IV, it was no more necessary to install the spiles. All those measures accelerated the weekly advance rates by 3m on average. Convergence measurements in both exploratory tunnels indicate that the environment responds to the excavation in compliance with designer's assumptions even after the implementation of the above-mentioned measures. The history of convergence measurements at chainage km 0.070, where three convergence measurement points are installed, is presented in Graph 1. This convergence station is located in the first third of the fault zone, where the excavation started in the top heading. At the end of September 2018, the tunnel bottom excavation was finished, which fact can be seen on the graph in the form of a step change in relative distances between all points. The first warning level was reached (roof – 2mm, sidewalls – 15mm) and subsequently the second warning level was reached in the roof (roof – 4mm, sidewalls – 25mm). The convergences were gradually stabilised with the excavation face advancing. Similar development was recorded also in tunnel BP2, where the deformation values exceeded only the first warning level.

The work on the main-route tunnels commenced a little later. The reason was that it was not easy to find a sub-contractor in Sweden which would be able to drill for a canopy tube pre-support with the required parameters. In agreement with the client, a contract was concluded with the Czech company Zakládání staveb a. s., which mobilised itself very quickly and drilled for the first pipe roof

hodnoty přetvoření překročily pouze hranici prvního varovného stavu.

V hlavních tunelech byly práce započaty o něco později. Nebylo totiž snadné najít ve Švédsku subdodavatele, který by byl schopen navrtat mikropilotový deštník požadovaných parametrů. Po dohodě s investorem byla podepsána smlouva s českou společností Zakládání staveb a.s., která se velice rychle zmobilizovala a v září 2018 navrtala první deštník v tunelu hlavní trasy HT201. K vrtání využívá upravenou vrtnou soupravu Casagrande PG185, se kterou běžně navrtá 5–8 mikropilot za den (obr. 8). Jelikož se ražba hlavních tunelů stále nachází v poruchové zóně, jsou postupy velice pomalé a z pohledu optimalizací je v hlavních tunelech investor zatím opatrný. Doposud zaznamenané odchylky od projektu tunelů hlavní trasy převážně vyplynuly z technických možností strojů a mají minimální vliv na rychlost ražeb.

5. ZÁVĚR

Ražba úseku pod jezerem Mälaren byla z pohledu celého projektu, již ve fázi přípravy nabídky, identifikována jako velice riziková. I přesto, že byly komplikace v tomto úseku předpokládány, je rozsah změn natolik zásadní, že bez rozumného přístupu investora by pokračování v realizaci projektu bylo nemožné. Pro ražbu pod jezerem byl ve spolupráci s investorem vytvořen separátní projektový tým, sestavený nové razičské osádky a strojní sestava věnující se pouze těmto čtyřem čelbám. Byly dohodnuty nové smluvní podmínky, které se snaží kompenzovat ztrátu efektivity původních zdrojů a plně kompenzují náklady na probíhající ražbu pod jezerem. V případě jezera Mälaren je vidět snaha investora nastatou změnou minimálně zatížit dodavatele. Zejména přínosný je pravidelný dialog s projektantem, který dobře vnímá problémy stavby a kontinuálně se snaží po dohodě se všemi účastníky své řešení přizpůsobovat aktuálním podmínkám. Právě díky průběžným úpravám projektu se podařilo v průzkumných tunelech BP1 a BP2 vyrazit 141 m a 104 m. Dá se předpokládat, že po dokončení průzkumných děl bude snaha zoptimalizovat také projekt ražby tunelů hlavní trasy a minimalizovat tak časovou ztrátu a zvýšené náklady na dokončení projektu. V tunelech hlavní trasy HT201 a HT202 bylo k lednu 2019 vyraženo 17 a 10 m.

Důležitým milníkem projektu FSE209 v roce 2019 je plánovaná prorážka tunelů hlavní trasy mezi Skärholmenem a Sätrou a dokončení prvního průzkumného tunelu pod jezerem Mälaren. Z pohledu dceřiné společnosti Subterra a.s., SBT Sverige AB, je důležitých milníků v roce 2019 o něco více, jelikož v prvním kvartálu započnou práce na nově vysoutěženém projektu přístupového tunelu Veddesta pro rozšíření linky stockholmského metra do městské části Barkarby.

*Ing. TOMÁŠ NĚMEČEK, tnemecek@subterra.cz,
Subterra a.s., SBT Sverige AB*

umbrella in the HT201 main-route tunnel in September 2018. The company uses a modified Casagrande PG185 drill rig, with which drilling for 5–8 boreholes is commonly performed per day (see Fig. 8). Because of the fact that the excavation of the main-route tunnels is still found in the fault zone, the excavation advance proceeds very slowly and, from the aspect of optimisations, the client is for the time being careful in the main-route tunnels. The so far recorded deviations from the main-route tunnels design followed from technical capacity of the machines. Their influence on the excavation advance rate is minimal.

5. CONCLUSION

From the aspect of the whole project, tunnelling in the section under Lake Mälaren was identified as very risky already in the phase of the preparation of the tender. Despite the fact that complications were expected in this section, the extent of changes is so crucial that it would be impossible to continue the project realisation without reasonable approach of the client. A separate project team was established in collaboration with the client for the excavation under the lake; new tunnelling crews were formed and a machinery park devoted solely to the above-mentioned four faces was provided. New contractual conditions were agreed which try to compensate for the loss of effectiveness of original resources and fully compensate for the costs incurred during the excavation under the lake. Client's effort to put the burden accompanying the necessary changes on the contractor as little as possible can be seen in the case of Lake Mälaren. First of all the regular dialogue with the designer is beneficial. The designer well senses problems of the construction and continually tries to adapt the solution to current conditions after it is approved by all participants in the construction. It was just thanks to continual modification of the design that 141m of excavation in exploratory tunnel BP1 and 104m in tunnel BP2 were successfully finished. It is possible to expect that, after the completion of the exploratory tunnels, there will be an effort to optimise even the design for the excavation of main-route tunnels, thus to minimise the loss of time and the increased costs required for the completion of the project. As of January 2019, 17m and 10m of the main-route tunnels HT201 respectively HT202 were excavated.

An important milestone of the FSE209 project in 2019 lies in the planned breakthrough of them main-route tunnels between Skärholmen and Sättra and the completion of the first exploratory tunnel under Lake Mälaren. From the point of view of SBT Sverige AB, a daughter of Subterra a. s., there are little more milestones in 2019 because of the fact that the work on the newly won project for the Veddesta access tunnel for the extension of the Stockholm metro line to the municipal district of Barkarby will start in the first quarter.

*Ing. TOMÁŠ NĚMEČEK, tnemecek@subterra.cz,
Subterra a.s., SBT Sverige AB*

Recenzoval Reviewed: Rocio Batres-Estrada

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Projektová dokumentace E4 Förbifart Stockholm – FSE209 Huvudtunnlar Skärholmen, stavební projekt, zpracoval ÄF Infrastruktur, Stockholm 2013
- [2] NĚMEČEK, T., PŘENOSIL, M. Förbifart Stockholm – Projekt FSE210. *Tunel*, 2017, roč. 26, č. 1, s. 62–73
- [3] NĚMEČEK, T. Förbifart Stockholm – projekt FSE209, ražený tunel Skärholmen. *Tunel*, 2017, roč. 26, č. 4, 17–29
- [4] Projektová dokumentace E4 Förbifart Stockholm – FSE209 Mälarpassage Sättra – Kungshat, stavební projekt, zpracoval ÄF Infrastruktur, Stockholm 2018

TUNEL MILOCHOV – PŘEDPOKLAD PROJEKTU A SKUTEČNOST MILOCHOV TUNNEL – DESIGN ASSUMPTIONS AND REALITY

PETR VELIČKA, JIŘÍ MATĚJÍČEK

ABSTRAKT

Tunel Milochov je součástí modernizace železniční tratě Púchov – Žilina, určené pro traťovou rychlost do 160 km/h. Jedná se o dvoukolejný jednotubusový tunel, jeho celková délka včetně hloubených portálových částí je 1861 m. Součástí tunelu je i úniková štola délky 266,5 m, která je situována přibližně v polovině tunelu kolmo k jeho ose a ústí v obci Horný Milochov. Během hloubení a zajišťování východního portálu tunelu Milochov byly zastiženy zeminy s horšími geotechnickými parametry, než předpokládal původní projekt. Z tohoto důvodu byla vypracovaná optimalizovaná projektová dokumentace na zajištění čela stavební jámy a předpolí ražby tunelu pomocí tryskové injektáže. Následně byla projektantem přepracována také projektová dokumentace pro počáteční úsek ražby z východního portálu. Článek popisuje zkušenosti z dosavadní výstavby tunelu a rozdíly mezi původním projektem a nově navrženým, skutečně realizovaným řešením.

ABSTRACT

The Milochov tunnel is part of the project for modernisation of the Púchov – Žilina railway line designed for the speed limit over the track up to 160km/h. It is a double-track single-tube tunnel, the length of which including cut-and-cover parts amounts to 1861m. A 265m long escape gallery located approximately in the middle of the tunnel, starting perpendicularly to its centre line and ending in the municipality of Horný Milochov, is part of the tunnel. Soils with worse geotechnical parameters than expected by the original design were encountered during excavation and stabilisation of the construction pit for the eastern portal. For that reason an optimised design was created for stabilising the front face of the pit and the front zone of the tunnel excavation by jet grouting. The designer subsequently redeveloped the design for the initial section of the tunnel excavation from the eastern portal. The paper describes the experience from the so far completed construction of the tunnel and the differences between the original design and the newly designed solution being implemented.

ÚVOD

V současné době jsou na území Slovenské republiky realizovány dva železniční tunely – tunel Diel a tunel Milochov. Oba tyto tunely jsou součástí modernizace železniční tratě Púchov – Žilina, navržené pro traťovou rychlost do 160 km/h. Zhotovitelem stavby je sdružení firem Doprastav, a.s., Subterra a.s., TSS Grade a.s. a Elektrizace železnic Praha a.s. Zhotovitelem stavební části tunelu Milochov je Subterra a.s., Divize 1. Generálním projektantem stavby je firma REMING CONSULT a.s.

Tunel Milochov se skládá celkem ze čtyř hlavních stavebních objektů – východní portál, západní portál, úniková štola a tunelová trouba.

Tať prochází tunelem ve dvou pravých směrových obloucích o poloměrech 1550 m, respektive 1425 m. Niveleta tratě směrem od západního portálu stoupá ve sklonu 4,0 ‰ na cca třetině délky tunelu a dále klesá 5,9 ‰ směrem k východnímu portálu.

Celková délka tunelu včetně hloubených částí je 1861 m, z toho ražená část je dlouhá 1770 m. Hloubená část z východního portálu je dlouhá 71 m a ze strany západního portálu 20 m.

Ražba tunelu byla navržena podle zásad NRTM. V závislosti na interpretaci výsledků inženýrskogeologického průzkumu bylo v zadávací projektové dokumentaci navrženo celkem pět technologických tříd výrubu (třídy II, III, IV, Va a Vb). Způsob ražby je navržen jako konvenční – cyklický, se strojním rozpojováním horniny, v pevnějších horninách s pomocí trhacích prací.

Teoretický profil výrubu v dosud realizovaných technologických třídách je v rozmezí 135 m² (profil v úskoku za návrtnými body mikropilotového deštníku) až 160 m² (rozšíření profilu pro návrtné body mikropilotového deštníku).

Ostění ražené části tunelu je navrženo jako dvouplášťové – primární a sekundární ostění s mezilehlou deštníkovou izolací a rubovou drenáží. Primární ostění je tvořeno stříkaným betonem s ocelovými svařovanými sítěmi a příhradovými rámy a dalšími zajišťovacími

INTRODUCTION

Two railway tunnels, the Diel and the Milochov, are currently under construction in the Slovak Republic. Both tunnels are parts of the modernisation of the Púchov – Žilina railway line designed for the speed limit of 160km/h. The consortium consisting of Doprastav, a.s., Subterra a.s., TSS Grade a.s. and Elektrizace železnic Praha a.s. is the contractor for the civil engineering part of the Milochov tunnel. REMING CONSULT a.s. is the general consulting engineer (the designer).

The Milochov tunnel consists of four main construction objects – the eastern portal, western portal, escape gallery and tunnel tube.

The track passes through the tunnel on two right-hand directional curves with the radii of 1550m and 1425m, respectively. The vertical alignment ascends from the western portal at the gradient of 4.0‰ along approximately one third of the tunnel length. Further on, it descends at 5.9‰ towards the eastern portal.

The total length of the tunnel, including cut-and-cover parts, amounts to 1861m, of which the mined part takes 1770m. The cut-and-cover parts at the eastern and western portal are 71m and 20m long, respectively.

The tunnel excavation was designed in compliance with the NATM principles. Five excavation support classes (classes II, III, IV, Va and Vb) were proposed in the tender design, depending on the interpretation of results of the engineering geological survey. A conventional – cyclical tunnelling process is designed, with mechanical disintegration of rock, using blasting in harder rock.

Theoretical cross-sectional area of the excavation through the so far encountered excavation support classes ranges from 135m² (the profile at the beginning of the excavation block under the canopy tube pre-support) up to 160m² (at the end of the excavation block under the canopy tube pre-support).

The lining of the mined part of the tunnel was designed as a double-shell structure – primary and secondary linings with an

prvky – mikropilotový deštník, jehlování, radiální kotvy. Sekundární ostění je navrženo jako železobetonová konstrukce, realizovaná pomocí posuvného bednění.

GEOLOGICKÉ POMĚRY STAVBY

Geologická stavba území koridoru železniční tratě v trase tunelu Milochov je komplikovaná. Horninové prostředí je v důsledku složitého vývoje bradlového pásma intenzivně tektonicky porušené, provrásněné a prostoupené zlomovými poruchami. Na geologické stavbě oblasti se podílejí horniny bradlového pásma se zastoupením flyšoidních souvrství jílovců, slínovců, pískovců a slepenců.

Na základě analýzy vývoje území v rámci průzkumů, detailního měření systému diskontinuit na odkryvech, geofyzikálních měření, analýzy prvků reliéfu a směru vodních toků bylo možné odhadnout pravděpodobné směry a charakter tektonických poruch, kterými je území prostoupené. Bylo konstatováno, že tektonická stavba této oblasti má vliv jak na geotechnické vlastnosti hornin, tak na hydrogeologické poměry území.

Západní portál

Povrch území je pokrytý vrstvou deluviálních sutí s úlomky podložních hornin, které mají převážně charakter šterkovitého jílu až jílovitého šterku a mocnost 0,5 až 7,0 m. V podpovrchové zóně je horninový masiv silně zvětralý, rozvolněný, tektonicky silně porušený. Prostředí má charakter jílovité zeminy. Při vrtání lanových kotev již bylo v oblasti kořenů zastiženo skalní podloží.

Východní portál

Na základě průzkumných mapovacích..., geofyzikálních měření a vrtných prací bylo zkonstatováno, že portálový zářez a úvodní část tunelu jsou situovány do čela rozsáhlého sesuvu. Vrtanými sondami byly zjištěny silné vrstvy deluviálních sedimentů ve formě jílu a kamenito-jílovitých a jílovito-kamenitých sutí (mocnosti 10–15 m, lokálně 20 m). Díky budování zářezu místní komunikace, železniční tratě a obslužných komunikací v zastavěné oblasti byly již dříve aktivovány svahové pohyby v dotčené oblasti.

Úniková štola

Podloží je tvořené mezozoickými horninami nivnického souvrství s dominantním zastoupením jílovců. Horniny jsou převážně zdravé a navětrané, v místě poruchových zón ale podrcené, mají charakter zemin a lze očekávat výrazné přítoky podzemní vody. V oblasti portálu byly zastiženy v horních etážích písčité jíly s úlomky až bloky pískovců, přecházející ve spodních partiích do navětralých pískovců.

Trasa tunelu

V trase tunelu je masiv tvořen mezozoickými horninami (jílovec s lokálními proplásky pískovců nivnického souvrství a masivní až lavicovité pískovce s proplásky jílovců uhrovského souvrství). Prostředí je prostoupeno systémem tektonických poruchových zón (zlomů) a k nim příslušejícím systémem puklin. Pevně na tyto systémy puklin budou vázány přítoky podzemní vody do tunelu během ražby. Nadloží tunelu je v rozmezí 5 až 110 m.

Hydrogeologické poměry

Obecně lze konstatovat, že i když ražba tunelu bude procházet přes masiv porušený systémem puklin, které jsou podle výsledků průzkumů silně dotovány zejména srážkovou vodou, nejsou očekávány silnější výrony vody při ražbě. Toto prostředí bylo zhodnoceno jako pomalu proudící, bylo zjištěno poměrně málo pramenů podzemní vody. Lokálně lze ale očekávat, že v určitých oblastech dojde k jednorázovému vyprázdnění statických zásob podzemní vody.

intermediate waterproofing layer and external drainage. The primary lining is formed by shotcrete with welded mesh, lattice girders and other supporting elements – canopy tube pre-support, spiles and radial anchors. The secondary lining is designed as a reinforced concrete structure cast behind travelling formwork.

GEOLOGICAL CONDITIONS OF THE CONSTRUCTION

The geological structure of the area of the railway line corridor on the Milochov tunnel route is complicated. The ground environment is intensely tectonically disturbed, refolded and interspersed with faults as a result of complicated development of the klippen belt. The klippen belt rock types comprising formations of flyschoidal claystone, marlstone, sandstone and conglomerates participate in the geological structure.

It was possible to assess the probable directions and character of tectonic disturbances the area is interspersed with on the basis of an analysis of the development of the area conducted within the framework of surveys, detailed measurements of the system of discontinuities on rock outcrops, geophysical measurements, and an analysis of elements of the relief and the direction of streams. It was stated that the tectonic structure of the area influences the geotechnical properties of the rock mass as well as the hydrogeological conditions in the area.

Western portal

The surface of the area is covered with a 0.5m to 7.0m thick layer of deluvial debris containing fragments of underlying rock, which have mostly the character of gravelly clay up to clayey gravel. In the subsurface zone, the ground massif is heavily weathered, loosened, tectonically heavily disturbed. The environment has the character of clayey soil. The bedrock was encountered during drilling for cable anchors in the area of roots of the anchors.

Eastern portal

It was stated on the basis of mapping activities, geophysical measurements and drilling activities that the portal cutting and the initial part of the tunnel are located at the front end of an extensive landslide. Thick layers of deluvial sediments having the form of clay and stony-clayey and clayey-stony debris (10–15m and locally 20m thick) were identified by drilled probes. Slope movements were activated in the particular area owing to construction of cuttings for a local road, railway track and service roads in the developed area already in the past.

Escape gallery

The bedrock is formed by Mesozoic rock types of the Nivnica Formation with dominant presence of claystone. The rock is mostly fresh and slightly weathered, crushed in the faulted zones with the character of soils, where significant groundwater inflows can be expected. In the area of the portal, sandy clay containing fragments up to blocks of sandstone was encountered in the upper layers. It passed to slightly weathered sandstone in the lower parts.

Tunnel alignment

The massif along the tunnel route is formed by Mesozoic rock types (claystone with local interbeds of the Nivnicka Formation sandstone and massive to tabular sandstone with interbeds of the Uhrov Formation claystone. The environment is interspersed with a system of tectonic fault zones (faults) and a system of fissures associated with them. Groundwater inflows into the tunnel during the course of the excavation will be mostly bound to those fissure systems. The tunnel overburden thickness ranges from 5m to 110m.



Obr. 1 Pohled na odlesněný svah budoucí stavební jámy západního portálu
Fig. 1 A view of the deforested slope of the future construction pit for the western portal

Rozbory podzemní vody ukázaly, že voda z prostředí nemá agresivní účinky na beton, ale vzhledem k vysoké konduktivitě (vodivosti) má silné korozivní účinky na železné materiály.

HLOUBENÍ STAVEBNÍ JÁMY – ZÁPADNÍ PORTÁL

Hloubení a zajišťování stavební jámy západního portálu bylo navrženo na deset pracovních etapách. Portálová i boční stěna stavební jámy byly plánovány s různými sklony, zajištěné kombinací stříkaného betonu, ocelových svařovaných sítí, zemními hřeby a lanovými kotvami v šesti řadách, kotvené přes dvě kotevní úrovně železobetonovými svislými prahy. Hloubkové odvodnění horninového prostředí bylo navrženo pomocí dvou 100 m dlouhých a dvou 80 m dlouhých vrtů vystrojených perforovanou pažnicí. V každé etapě byly navrženy i 5 m dlouhé odvodňovací vrty v rozestupech 10 m. Portálová stěna se dělí na čtyři části s mezilehlými vodorovnými lavicemi šířky 1,5 m a boční stěna na celkem šest částí s mezilehlými lavicemi s šířkou taktéž 1,5 m.

Práce na portále započaly v květnu 2017. První výzvou pro zhotovitele před zahájením hloubení a zajišťování portálové stěny bylo dostat se s mechanizací na nejvyšší etáž a od ní poté začít zemní a zajišťovací práce (obr. 1). Bylo nutno přemístit velký objem zeminy, zrealizovat dočasnou obslužnou najížděcí rampu a citlivě umístěným zářezem v rostlém terénu nastoupit až na horní etáž, ze které bylo možno začít s pracemi. Během těchto nutných terénních úprav probíhalo oplocení staveniště drátěným plotem a pokládka odvodňovacího žlabu kolem celé horní etáže stavební jámy, svedeného ke dvěma horským vpustím.

Při zemních pracích v místě portálu docházelo k vypadávání poměrně velkých bloků horniny, všechny tyto nadvylomy byly plombovány stříkaným betonem. Stavební jáma západního portálu byla dokončena v prosinci 2017 (obr. 2).

Hydrogeological conditions

It can be stated in general that even though the tunnel the excavation will pass through a massif disturbed by a system of fissures which are, according to the results of surveys, heavily fed with water first of all by precipitation, heavier outbursts of water during the excavation work are not expected. This environment was assessed as slowly flowing; relatively low number of groundwater springs was determined. It is however locally possible to expect that one-shot emptying of static stocks of groundwater will happen in certain areas.

Groundwater analyses proved that water from the environment is not corrosive to concrete, but is heavily corrosive to steel materials with respect to its high conductivity.

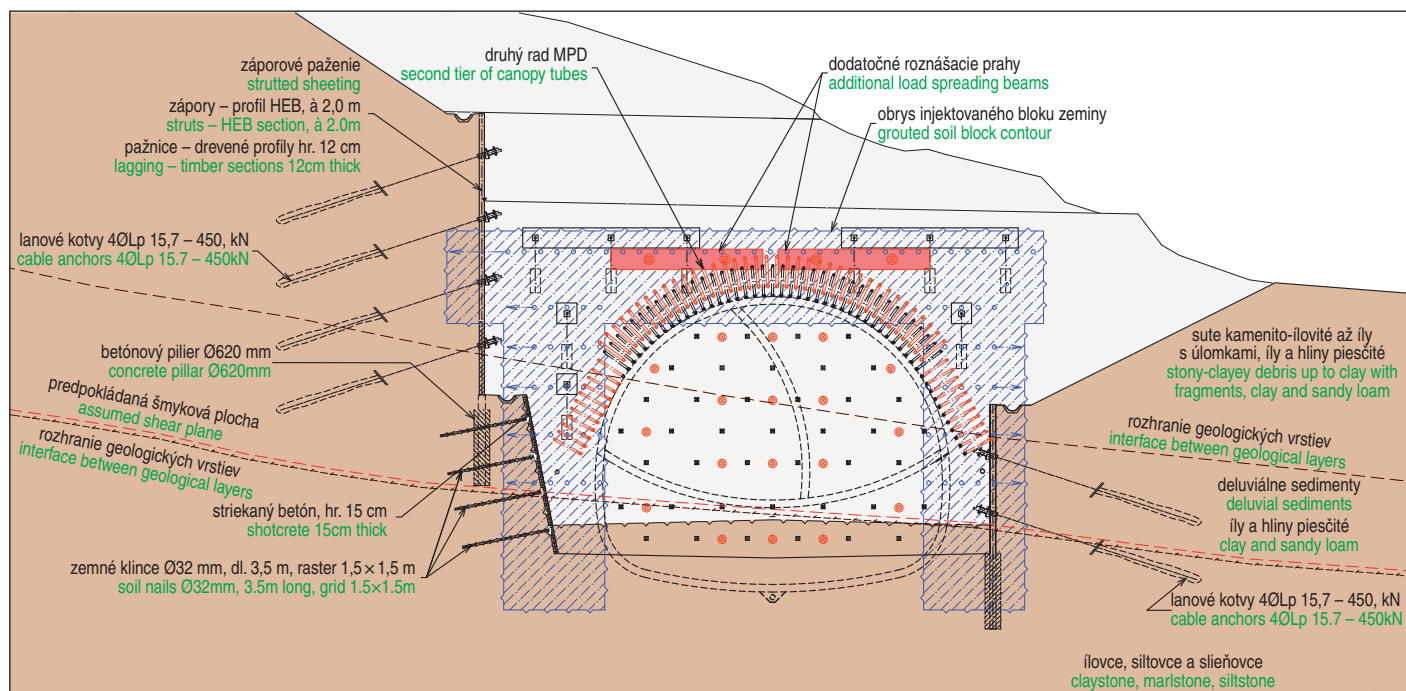
EXCAVATION OF CONSTRUCTION PIT – WESTERN PORTAL

The design for the excavation and stabilisation of the construction pit for the western portal comprised ten working stages. Various slopes were planned for the portal wall and sidewall of the construction pit. The stabilisation of the walls was to be provided by a combination of shotcrete, welded mesh, soil nails and cable anchors installed in six tiers and anchored over two anchoring levels by vertical reinforced concrete beams. The deep drainage of the ground environment by two 100m long and two 80m long boreholes provided with perforated casing pipes was designed. In addition, 5m long drainage boreholes spaced at 10m were designed to be carried out at each stage. The portal wall is divided into four parts with 1.5m wide intermediate horizontal berms. Six parts with intermediate berms also 1.5m wide are designed for the sidewall.

The work on the portal commenced in May 2017. The first challenge for the contractor before the commencement of the pit excavation and stabilisation of the portal wall was getting the mechanical equipment to the highest stages and subsequently proceeding from them with earthmoving and stabilisation operations (see Fig. 1). It was necessary to move a large volume of soil, build a temporary service entry ramp and ascend to the



Obr. 2 Výstavba západního portálu
Fig. 2 Construction of the western portal



Obr. 3 Blok zpevněný tryskovou injektáží

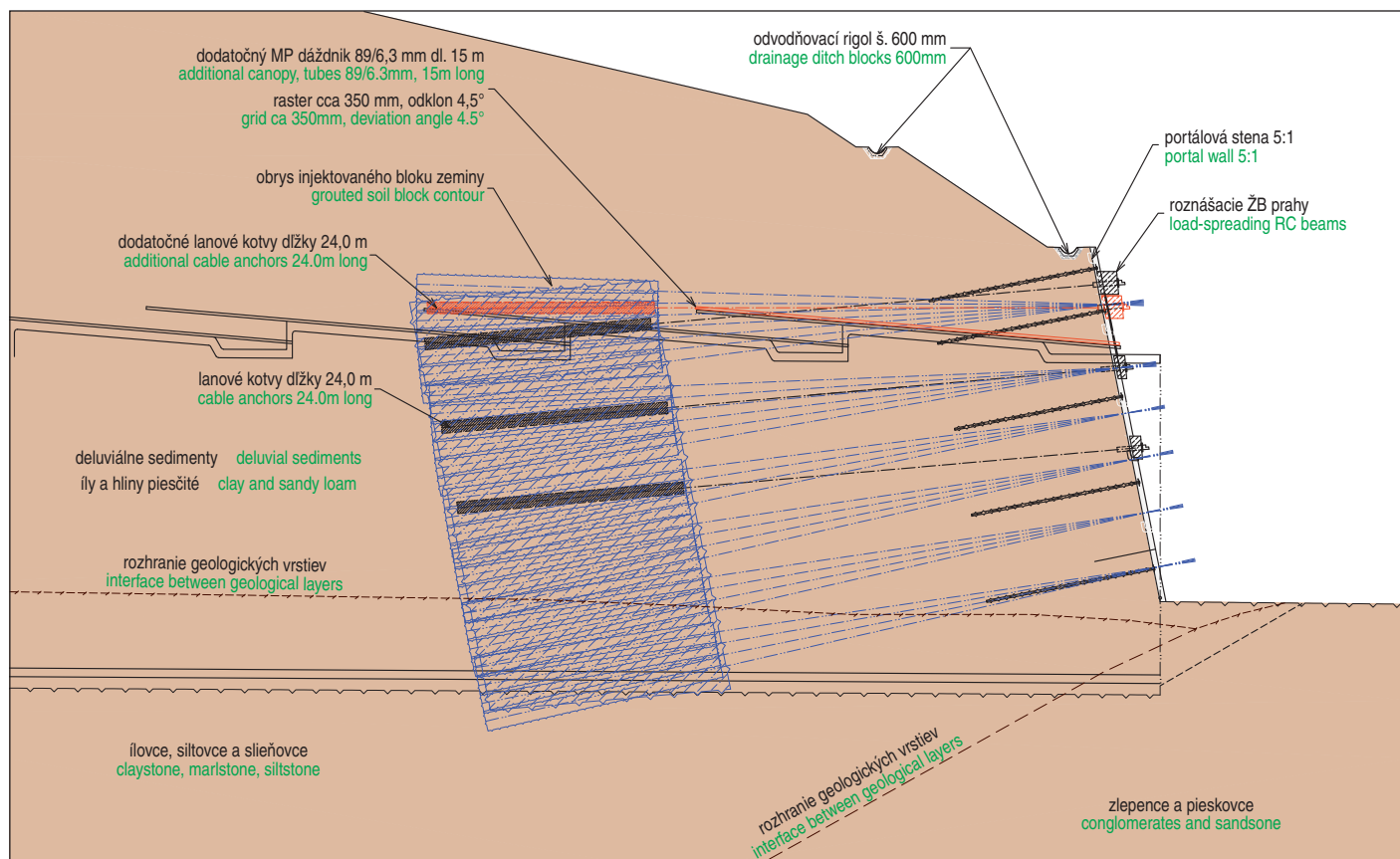
Fig. 3 A block of ground strengthened by jet grouting

HLOUBENÍ STAVEBNÍ JÁMY – VÝCHODNÍ PORTÁL

Práce na hloubení stavební jámy započaly v květnu 2017. Pravý boční svah ve směru staničení je řešen v převážné části své délky jako dvojetážový. Horní etaž je zabezpečena záporovým pažením, kdy z povrchu byly do předvrtaných děr osazeny profily HEB 220–280 a kořen těchto zápor byl stabilizován betonovou zálivkou. Prostor mezi záporami byl poté při postupném hloubení jámy

upper stage along a sensitively located cutting in the natural terrain. During the necessary ground shaping operations, a construction site chain link fence was being installed and ditch drainage blocks were being laid around the whole upper stage of the construction pit. The ditch was connected to two mountain gullies.

Relatively large rock blocks fell down during the earthmoving operations in the portal location. All overbreaks were filled with



Obr. 4 Zlepšení horninového prostředí pro uchycení kořenů kotvy

Fig. 4 Improved ground environment for fixing roots of anchors



Obr. 5 Realizace tryskové injektáže
Fig. 5 Realisation of jet grouting

zajišťován dřevěným pažením a stabilizován pomocí lanových kotev ve vzdálenosti 2,5–3,0 m, upnutých přes roznášecí profily 2×U220–U300. Spodní etáž byla zajištěna pomocí kombinace zemních hřebíků, ocelových sítí, stříkaného betonu a lanových kotev, kotvených přes železobetonové desky 0,8×0,8 m.

Levý boční svah byl stabilizován pomocí záporového pažení – HEB profilů, výdřevy a lanových kotev upnutých přes roznášecí profily 2×U220.

Portálová stěna byla původně navržena ve sklonu 5:1, zajištěná stříkaným betonem, ocelovými sítěmi, zemními hřebíky a lanovými kotvami ve třech řadách. Horní úroveň lanových kotev je ukotvena přes železobetonové roznášecí prahy délky 7 m. V ostatních řadách jsou kotvené přes železobetonové desky 0,8×0,8 m. Hloubkové odvodnění portálového zářezu bylo realizováno pomocí čtyř 100 m dlouhých odvodňovacích vrtů, osazených perforovanými pažnicemi.

Při napínání lanové kotvy s označením K24.III v čele portálové stěny došlo k jejímu vytažení. Údaje o geologickém prostředí, zdokumentované v průběhu vrtání, byly geologem detailně popsány a předány projektantovi. Na základě skutečně zastižené geologie projektant vyhodnotil geotechnické parametry a rozhodl o změně postupu dalších prací. Z důvodu výskytu plastických jíílů v místě plánovaného kořene lanové kotvy rozhodl o zlepšení vlastností zemín v předpolí ražby – realizací tryskové injektáže (obr. 3, 4).

Požadavkem projektu bylo vytvoření sloupů zpevněné horniny o průměru 700 mm a pevnosti v prostém tlaku minimálně 4,0 MPa po 28 dnech. Na základě těchto požadavků bylo rozhodnuto o realizaci jednofázové tryskové injektáže M1. Vrtky tryskové injektáže byly realizovány v šesti vrtných úrovních. Celkem bylo odvrtáno 574 vrtů, jednotlivé vrtky byly 24,4 m dlouhé s délkou proinjektované části 8,5 m. Jednalo se tedy celkem o 14 000 běžných metrů vrtů. Trysková injektáž byla prováděna po etážích, kdy se průběžně po dokončení jednotlivých etáží přistoupilo k zemním pracím, zajištění odkopané etáže stavební jámy pomocí stříkaného betonu na ocelové síti a poté se vrtala další horizontální řada vrtů. Původní řešení zajištění portálové stěny bylo doplněno o čtyři lanové kotvy, zajištěné přes dva železobetonové kotevní prahy. Trysková injektáž byla realizována od konce srpna 2017 do začátku února 2018 (obr. 5, 6).

HLoubení STAVEBNÍ JÁMY – ÚNIKOVÁ ŠTOLA

Přibližně v polovině délky tunelu je kolmo na tubus tunelu napojená úniková štola délky cca 266 m a průřezu výrubu 10 m² (průjezdny profil 2,25×2,25 m). Štola vyúsťuje svým portálem v zástavbě



Obr. 6 Dokončený východní portál pro ražbu
Fig. 6 Completed eastern portal prepared for tunnel excavation

shotcrete. The construction pit for the western portal was finished in December 2017 (see Fig. 2).

EXCAVATION OF CONSTRUCTION PIT – EASTERN PORTAL

The excavation of the construction pit commenced in May 2017. The right-hand side slope (viewed in the direction of chainage) is solved as a two-stage slope along a major part of its length. The upper stage is stabilised by strutted sheeting, where HEB 220–280 steel sections were inserted from the surface into pre-bored holes and their roots were fixated in concrete. The space between the struts was subsequently, during the gradual excavation of the pit, supported with wooden lags and stabilised with cable anchors spaced at 2.5–3.0m, fixed through load-spreading steel sections 2×U220–U300. The lower stage was stabilised by a combination of soil nails, welded mesh, shotcrete and cable anchors passing through 0.8m × 0.8m reinforced concrete slabs.

The left-hand side slope was stabilised by strutted sheeting – HEB steel sections, wooden lagging and cable anchors passing through load-spreading steel sections 2×U220.

The portal wall reposing at 5:1 was originally designed, to be stabilised with shotcrete, welded mesh, soil nails and three tiers of cable anchors. The upper tier of the cable anchors is anchored through 7m-long walers. At the other tiers they pass through 0.80m x 0.80m reinforced concrete slabs. The deep drainage of the portal cutting was realised by four 100m long drainage boreholes provided with perforated casing pipes.

The cable anchor at the front end of the portal wall, marked as K24.III, was pulled out during the process of tensioning. The data on the geological environment documented during the course of drilling was described in detail and handed over to the designer by the geologist. The designer assessed the geotechnical parameters on the basis of the actually encountered geology and decided to change the procedure for the subsequent work. With respect to the occurrence of plastic clay in the planned cable anchor root location, the designer decided that the properties of soils forming the advance core had to be improved by jet grouting (see Figures 3 and 4).

The design required that 700mm-diameter columns strengthened by jet grouting with the minimum unconfined compressive strength of 4.0MPa at 28 days were created. The decision was made on the basis of requirements that M1 single-jet grouting was to be realised. The jet grouting holes were drilled at six levels. In total,



Obr. 7 Dokončená stavební jáma pro únikovou štolu
Fig. 7 Completed construction pit for the escape gallery

v obci Horný Milochov. Portál je situovaný do stávajícího odřezu pro místní komunikaci a jeho poloha je navržena tak, aby mezi portálem a komunikací vznikla nástupní plocha o rozloze minimálně 500 m². Štola bude sloužit jednak jako úniková chodba a současně přístupová cesta pro zásah složek integrovaného záchranného systému v případě mimořádné události. Ražba samotné štoly bude prováděna zevnitř tunelu.

V předstihu byla zrealizována stavební jáma portálu. Svahy stavební jámy byly vybudovány ve sklonu 3:1 a zajištěny stříkaným betonem se dvěma vrstvami svařovaných sítí a horninovými kotvami délky 4 a 6 m. Hloubení a zajišťování probíhalo celkem v šesti etážích výšky 1,5 m (obr. 7). Odvodnění prostoru nad portálem je řešeno pomocí příkopového žlabu z prefabrikátů, který je přes horské vpusti v patě svahu napojený na travivod.

RAŽBA TUNELU ZE ZÁPADNÍHO PORTÁLU

Původní harmonogram výstavby tunelu Milochov počítal pouze s ražbou ze strany východního portálu. Ale vzhledem k situaci, kdy byl západní portál v prosinci 2017 již hotov a dokončení východního portálu bylo pozdrženo z důvodů změn zajištění portálové stěny a předpolí ražby, zahájil zhotovitel ražbu ze strany západního portálu. Ražba probíhala podle předpokladu inženýrskogeologického průzkumu projektu v technologické třídě Vb (obr. 8). Profil tunelu byl členěn na kalotu, opěří a protiklenbu. Primární ostění kaloty a opěří je tvořeno kombinací stříkaného betonu, výztužných příhradových rámtů, ocelových sítí a radiálních kotev délky 6 m. Primární ostění protiklenby je tvořeno kombinací ocelových sítí a stříkaného betonu. Ražba probíhala s délkou záběru 0,8–1,0 m pod ochranou mikropilotového deštníku z ocelových pažnic D89/6,3 mm, délky 15 m s překrytím 6,4 m – celkem 39 ks pažnic a se zajištěním čelby sklaminátovými kotvami délky 8 m. Čelba se během ražby zčásti nechávala přitížena pomocí opěrného klínu z rostlé horniny. Opěří a protiklenba byly po vyražení kaloty dobírány v daných rozestupech tak, aby nedocházelo k nežádoucímu nárůstu deformací a výrub byl v co nejrychlejší době uzavřen do plného profilu díla (obr. 9).

Práce byly započaty 8. ledna 2018. Ražba v kalotě probíhala s průměrnou rychlostí 2 m/den v geologických podmínkách odpovídajících navržené technologické třídě ražby. Bylo vyraženo celkem cca 110 m v plném profilu tunelu. Po dokončení dodatečných zajišťovacích prací na východním portálu byla ražba na západní straně přerušena. Prostor tunelu a zařízení staveniště byl zajištěn proti

574 holes were drilled; individual boreholes were 24.4m long, with the length of the grouted section 8.5m long. It means that 14,000 linear metres of holes were bored in total. The jet grouting was conducted stage-by-stage, with earthmoving operations starting continually after completion of individual stages. A finished stage of the construction pit excavation was stabilised by shotcrete applied to welded mesh. The next horizontal tier of holes was bored subsequently. The original solution to the stabilisation of the portal wall was supplemented by four cable anchors installed through reinforced concrete walers. The jet grouting was realised from the end of August 2017 to the beginning of February 2018 (see Figures 5 and 6).

EXCAVATION OF CONSTRUCTION PIT – ESCAPE GALLERY

The ca 266m long escape gallery is connected to the tunnel approximately in the middle of the tunnel length, perpendicularly to the tunnel tube. The excavated cross-sectional area amounts to 10m² (the clearance profile of 2.25x2.25 m). The gallery has its end portal in the developed part of the municipality of Horný Milochov. The portal is located in the existing side-hill cutting for a local road. Its location is designed with the objective to create a mustering area between the portal and the road with the minimum area of 500m². The gallery will be used as an escape route and, at the same time, as an access route for intervention of components of the Integrated Rescue System in case of emergency. The gallery will be driven from within the tunnel.

The construction pit for the portal was realised in advance. The slopes of the construction pit were built at a gradient of 3:1. They were stabilised with shotcrete, two layers of welded mesh and earth anchors 4m and 6m long, respectively. The pit excavation and stabilisation was divided into six 1.5m high stages (see Fig. 7). Concrete ditch drainage blocks are designed for draining the area in front of the portal. The ditch is connected through mountain gullies to drainage at the slope base.

DRIVING THE TUNNEL FROM THE WESTERN PORTAL

The original works schedule for the Milochov tunnel counted only with driving from the eastern portal side. Nevertheless, with respect to the situation where the western portal was finished in December 2017, whilst the completion of the eastern portal was deferred due to changes in the system of stabilisation of the portal wall and the face-advance core, the contractor started to drive the tunnel from the western portal. The tunnel excavation proceeded, in compliance with the prediction of the engineering geological survey, through Vb excavation support class (see Fig. 8). The excavation sequence consisted of top heading, bench and invert



Obr. 8 Technologická třída výrubu Vb, vrtání čelbových kotev
Fig. 8 Excavation support class Vb, drilling into advance core for anchors



Obr. 9 Dobírání opěří a protiklenby ve třídě Vb

Fig. 9 Completion of excavation of bench and invert through class Vb ground

vniknutí cizích osob a veškeré kapacity byly přesunuty na východní portál.

RAŽBA TUNELU Z VÝCHODNÍHO PORTÁLU

Již během realizace tryskové injektáže předpolí ražby směrem z východního portálu zhotovitel upozornil investora, že původně navržená technologická třída výrubu Vb by vzhledem ke skutečně zastížené geologii nemusela být dostačující. Investor reagoval vydáním pokynu projektantovi na vypracování nového technického řešení pro ražbu. V nově navržených technologických třídách výrubu projektant zohlednil zastíženou geologii, vliv nízkého nadloží (7–25 m v délce 250 m) a současně nutnost omezit deformace výrubu. Původní škála technologických tříd byla doplněna o dvě nové: VT VI a VT Vc. Doplněná projektová dokumentace zahrnovala i úpravu zajištění předpolí ražby. Tato změna spočívala v navýšení počtu kusů 15 m dlouhého mikropilotového deštníku, kdy deštník byl realizován ve dvou řadách a rozšířen do stran, celkem bylo tedy místo 585 běžných metrů mikropilot realizováno 1485 m. Délka čelových kotev byla změněna z 8 m na 16 m v rastru 1,4×1,4 m a dále byly realizovány dva odvodňovací vrty délky 50 m do předpolí ražby (obr. 10).

Specifikum technologické třídy výrubu VI (obr. 11) spočívá ve vertikálním členění kaloty na dvě menší části, označené jako kaple I a kaple II. Ražba probíhala pod ochranou mikropilotového deštníku. Dílčí výrubu byly uzavírány pomocí příhradových rámu a sřítaného betonu po celém obvodu. Po doražení I. kaple na konec maximálního možného postupu pod ochranou mikropilotového deštníku (9,6 m) se začala razit II. kaple a postupně se ubourávalo středové výztužné žebro. Primární ostění protiklenby bylo řešeno



Obr. 10 Stěna východního portálu dle doplněné projektové dokumentace

Fig. 10 Eastern portal wall according to the supplemented design documents

excavation. The primary lining of the top heading and bench is formed by a combination of shotcrete, lattice girders, welded mesh and 6m long radial anchors. The primary lining of the invert is formed by a combination of welded mesh and shotcrete. The excavation rounds were 0.8m – 1.0m long. The excavation proceeded under the protection of canopy tube pre-support formed by 15m long D89/6.3 steel tubes (39 pieces in total) overlapping 6.4m. The excavation face was supported by 8m long glassfibre reinforced plastic anchors. The excavation face was supercharged by means of a supporting wedge of natural rock. The bench and invert excavation proceeded after the completion of the top heading excavation, with the distances between the faces designed with the objective to prevent undesirable increase in deformations and allow for closing of the full tunnel profile as fast as possible (see Fig. 9).

The work operations commenced on 8th January 2018. The top heading excavation proceeded through geological conditions corresponding to the designed excavation support class at the average rate of 2m per day. The total of ca 110m of the excavation of the tunnel full profile was finished. The tunnel excavation from the western side was interrupted after the completion of additional stabilisation work at the eastern portal. The tunnel space and the construction site facilities were secured against intrusion of unauthorised persons, and all capacities were moved to the eastern portal.

DRIVING THE TUNNEL FROM THE EASTERN PORTAL

The contractor warned the project owner already during the work on the jet grouting into the advance core in the direction from the eastern portal that the originally designed excavation support class Vb might be insufficient with respect to the actually encountered geology. The project owner responded by issuing an instruction to the designer to develop a new technical solution for the tunnel excavation. In the newly designed excavation support classes, the designer took into account the actually encountered geology, the influence of the shallow overburden (7–25m high along the tunnel length of 250m) and, at the same time, the necessity for restricting the excavation deformations. Two new excavation support classes, VI and Vc, were added to the original range of classes. The supplemented design documents even comprised a modification of the advance core stabilisation system. The change lay in increasing the number of pieces of the 15m long canopy tube pre-support. The canopy was realised in two tiers and the width was extended to the sides. The total of 1485 linear metres of the canopy tubes



Obr. 11 Zahájení ražby ve třídě VI s vertikálně členěnou kalotou

Fig. 11 Commencement of tunnel excavation with the vertically divided top heading (class VI)



Obr. 12 Uzavírání celého profilu díla pomocí příhradových rámu
Fig. 12 Closing the whole excavated tunnel profile using lattice girders

taktéž s pomocí příhradových ocelových rámu v kombinaci s ocelovými sítěmi a stříkaným betonem (obr. 12).

Technologická třída výrubu Vc: je téměř totožná s technologickou třídou Vb s jediným rozdílem, kdy je budována dočasná protiklenba kaloty, zajištěná stříkaným betonem s ocelovými sítěmi. Toto řešení má za úkol zamezovat vzniku nadměrných deformací a umožňuje delší odstup čelby kaloty od dobírání opěr a protiklenby. Zhotovitel tak může využít kalotu díla jako průzkumnou štolu, která geologovi umožňuje vyhodnocovat aktuální stav a ve spolupráci s projektantem stanovit další postup prací.

Po doplnění a odsouhlasení projektové dokumentace byla ražba zahájena 23. května 2018. Ve třídě VI bylo v kalotě vyraženo 106,5 m. Poté se pokračovalo v kalotě ve třídě Vc až do vyražení 157,5 m. Na základě doporučení rady geotechnického monitoringu bylo přikročeno k ražení protiklenby ve třídě VI, respektive opěr a protiklenby ve třídě Vc v celkové délce 146,5 m. Před zahájením dobírky protiklenby bylo zesíleno zajištění portálové stěny kotvami. Paty kaloty tunelu (tzv. sloní nohy) byly na prvních deseti metrech podchyceny mikropilotami délky 6 m.

ZÁVĚR

Podle aktuálních poznatků bude ražba ve třídě Vc probíhat ještě cca 100 m. Po tomto úseku se bude nadloží tunelu prudce zvyšovat a lze očekávat zlepšení v geologických podmínkách. Následná ražba bude pravděpodobně probíhat v technologických třídách výrubu s menším množstvím zajišťovacích prvků, a tím se bude zrychlovat postup při ražbě díla. Nově navržené změny projektu zhotovitel technicky zvládl bez větších časových prodlev a bez vzniku mimořádných událostí. Naměřené konvergence dosáhly nejvíce 70 % maximální povolené hodnoty, stanovenou pro třídu VI 118 mm a pro třídu Vc 105 mm.

Ing. PETR VELIČKA, pvelicka@subterra.cz,

Ing. JIŘÍ MATĚJÍČEK, jmatejcek@subterra.cz, Subterra a.s.

Recenzoval Reviewed: Ing. Pavel Polák

were installed instead of the original 585 metres. The length of the anchors into the excavation advance core was changed from 8m to 16m, to be installed at 1.4×1.4m grid, and two 50m long drainage boreholes into the advance core were added (see Figures 10).

Excavation support class VI (see Fig. 11) – the particularity of this class lies in the vertical sequence of the top heading excavation consisting of two smaller parts marked as chapel I and chapel II. The excavation proceeded under the protection of canopy tube pre-support. The partial excavations were closed by means of lattice girders and shotcrete applied around the whole circumference. After completing the excavation of chapel I up to the end of the maximum permitted length of advance per round under the protection of canopy tube pre-support (9.6m), the excavation of chapel II started and the middle supporting ground rib was gradually broken. The design of the primary lining of the invert also comprised 4-strand lattice girders in combination with welded mesh and shotcrete (see Fig. 12).

Excavation support class Vc: This class is nearly identical with excavation support class Vb, with an only difference lying in the construction of temporary invert of the top heading supported with shotcrete and welded mesh. The objective of this solution is to prevent development of excessive deformations and allow for greater distances between the top heading excavation face and the subsequent excavation of the bench and the invert. The contractor can therefore use the top heading as an exploratory gallery allowing the geologist to assess the current condition and determine, in collaboration with the designer, the subsequent work procedure.

After complementing and approving the design documents, the excavation started on 23rd May 2018. Excavation support class was applied to 106.5m of the top heading. Subsequently class Vc was applied in the top heading until 157.5m of the excavation were completed. On the basis of a recommendation of the geotechnical monitoring board, the excavation commenced in the invert, respectively in the bench and invert, with excavation support class VI applied to the total length of 146.5m. Before the excavation of the invert started, the stabilisation of the portal wall was reinforced with anchors. The top heading footings (the so-called “elephant’s feet”) were underpinned within initial ten metres with 6m-long micropiles.

CONCLUSION

According to the current knowledge, the excavation through class Vc ground will continue in following ca 100 metres of the tunnel. After this section the tunnel overburden thickness will steeply grow and it is possible to expect improved geological conditions. The subsequent tunnel excavation will probably pass through excavation support classes with a smaller amount of support elements, excavation advance rate will therefore increase. The newly designed changes in the design were technically coped with by the contractor and no exceptional events were experienced. The highest measured convergence values reached 70 per cent of the maximum permitted values of 118mm and 105mm set for classes VI and Vc, respectively.

Ing. PETR VELIČKA, pvelicka@subterra.cz,

Ing. JIŘÍ MATĚJÍČEK, jmatejcek@subterra.cz, Subterra a.s.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] ŽSR, Modernizácia trate Púchov–Žilina, pre rýchlosť do 160 /h, I. etapa, Optimalizácia. Dokumentácia pre realizáciu stavby. Reming Consult, a.s. Bratislava 2018

TUNEL HERRSCHAFTSBUCK HERRSCHAFTSBUCK TUNNEL

JAN KUBEK, PAVEL FARSKÝ

ABSTRAKT

Článek popisuje výstavbu nového dálničního tunelu Herrschaftsbuck v Německu, ve spolkové zemi Badensko-Württembersko. Tento tunel leží na nově budované dálnici A98, jež bude kopírovat jižní hranici Německa se Švýcarskem, mezi městy Weil am Rhein – Waldshut. Dotčený tunel je součástí stavebního úseku AD Hochrhein – AD Karsau o celkové délce cca 3,5 km a navazuje tak na již provozovaný úsek dálnice A98 AD Weil am Rhein – AD Hochrhein, který slouží zároveň jako obchvat měst Basel a Lörrach. Realizace stavby Tunnel Herrschaftsbuck byla zahájena v dubnu roku 2017 a předpokládaný termín ukončení je stanoven na třetí čtvrtletí roku 2019. Samotná stavba Tunnel Herrschaftsbuck zahrnuje dvě tunelové trouby, jejichž paralelní osy jsou od sebe vzdáleny přibližně 30 m. Dvouproudá severní v délce 485 m a tříproudá jižní v délce 475 m, a to včetně hloubených částí. Součástí je i jedna tunelová propojka. Tunely byly raženy metodou NRTM, s použitím trhacích prací na cca 80 % délky tunelů. Dodavatelem stavby je ARGE Herrschaftsbucktunnel, sdružení společností Subterra a.s. a BeMo Tunneling GmbH.

ABSTRACT

The paper describes the construction of the Herrschaftsbuck tunnel, a new motorway tunnel in the Baden-Württemberg federal state, Germany. The tunnel is located on the A98 motorway, currently under construction, which will copy the southern border between Germany and Switzerland, between the towns of Weil am Rhein – Waldshut. The aforementioned tunnel is part of the AD Hochrhein – AD Karsau construction section with the total length of ca 3.5km. The section links to the already operating AD Weil am Rhein – AD Hochrhein section of the A98 motorway, which at the same time serves as a by-pass of the towns of Basel and Lörrach. The work on the Herrschaftsbuck tunnel commenced in April 2017 and the completion is planned for the third quarter of 2019. The Herrschaftsbuck tunnel construction consists of two tunnel tubes, the parallel axes of which are spaced approximately at 30m, the 485m long northern double-lane tube and the 475m long southern triple-lane tunnel tube (including cut-and-cover sections). One cross passage is also part of the structure. The tunnels were driven using the NATM. Blasting was applied to ca 80% of the tunnel tubes lengths. ARGE Herrschaftsbucktunnel, a consortium consisting of Subterra a. s. and BeMo Tunneling GmbH, was the construction contractor.

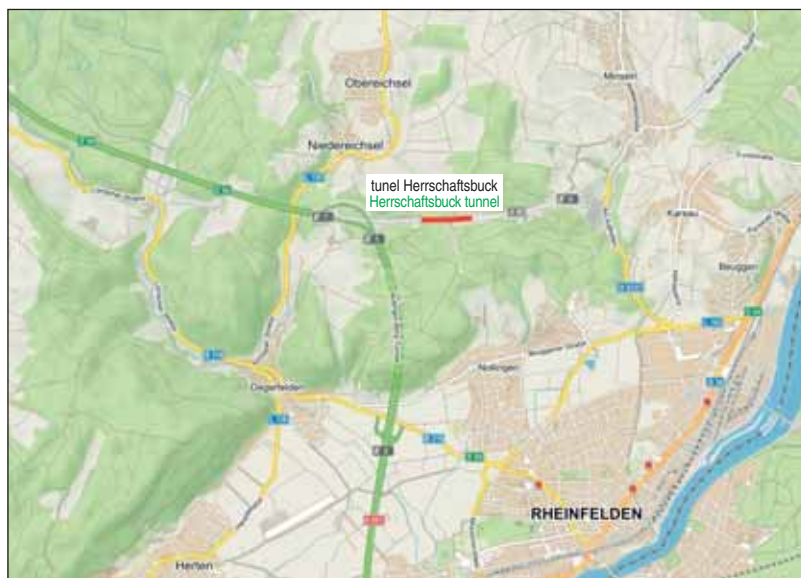
ÚVOD

Stavba Tunnel Herrschaftsbuck je dálniční tunelová stavba nedaleko městečka Rheinfelden na jihozápadě Německa v úpatí pohorí Schwarzwald, v těsné blízkosti švýcarské hranice, ve spolkové zemi Bádensko-Württembersko. Přímou navazuje na již provozovaný úsek dálnice A98 AD Weil am Rhein – AD Hochrhein zprovozněný v roce 2010, ukončený výjezdem do sousedního 1268 m dlouhého tunelu Nollinger Berg směrem Rheinfelden, Švýcarsko (obr. 1).

INTRODUCTION

The Herrschaftsbuck Tunnel construction is a motorway tunnel construction near the small town of Rheinfelden in the southwest of Germany, at the foothill of the Schwarzwald mountain range, in the immediate vicinity of the Swiss border, in the federal state of Baden-Württemberg. It directly follows the already operating section of the A98 motorway between AD Weil am Rhein and AD Hochrhein, which was brought into service in 2010 and ends by an exit to the neighbouring 1268m long Nollinger Berg tunnel heading towards Rheinfelden, Switzerland (see Fig. 1).

Realisation of these tunnels will allow for another extension of the A98 motorway, which, after completion, will connect the southern area of Germany in the east-west direction along the Swiss and Austrian borders, concretely from Basel (A5) to Rosenheim (A8). This priority transport construction project is important for the states of Bavaria and Baden-Württemberg because of the fact that nearest motorway or another high-capacity road link is located nearly 200km further north, mainly with respect to the extensive Schwarzwald mountain range. The construction is complicated not only by the fact that the whole planned motorway passes across the highly dissected mountainous areas of the Schwarzwald mountain range and Alpine foothills at relatively high altitudes, but also the fact that the importance in the context of the whole Germany is rather small. The entire works schedule is based on this fact. The construction is planned for another approximately 25 years.



Obr. 1 Mapa dotčené oblasti – úsek

Fig. 1 Map of the affected area – a section

Realizace těchto tunelů umožní další prodloužení dálnice A98, která po dokončení spojí jižní oblast Německa ve směru východ-západ podél hranice se Švýcarskem a Rakouskem, konkrétně od Baselu (A5) k Rosenheimu (A8). Pro Bavorsko a Bádensko-Württembersko se jedná o prioritní dopravní stavbu, neboť nejbližší dálniční či jiná kapacitní silniční spojnice leží téměř 200 km severněji zejména kvůli velmi rozsáhlému pohoří Schwarzwald. Výstavbu komplikuje nejen fakt, že celá tato plánovaná dálnice prochází velmi členitými hornatými oblastmi Schwarzwald a alpského předhůří v relativně vysokých nadmořských výškách, ale i menší význam v celoněmeckém kontextu. Z toho vychází i celý harmonogram výstavby, který je naplánován na dalších zhruba 25 let.

ZÁKLADNÍ ÚDAJE O STAVBĚ

název:	Tunnel Herrschaftsbuck
investor stavby:	Regierungspräsidium Freiburg Referat 47.32
zhotovitel stavby:	ARGE Herrschaftsbucktunnel BeMo Tunnelling – Subterra
trasa:	A98 AD Hochrhein – AD Karsau
umístění stavby:	Rheinfelden, Bádensko-Württembersko, jihozápad Německa
délka tunelu:	jižní tunelová trouba 475,63 m severní tunelová trouba 485,00 m
termín výstavby:	červen 2017 (zahájení prací v tunelu) – leden 2020 (předání stavby)
náklady stavby:	31,5 mil. EUR

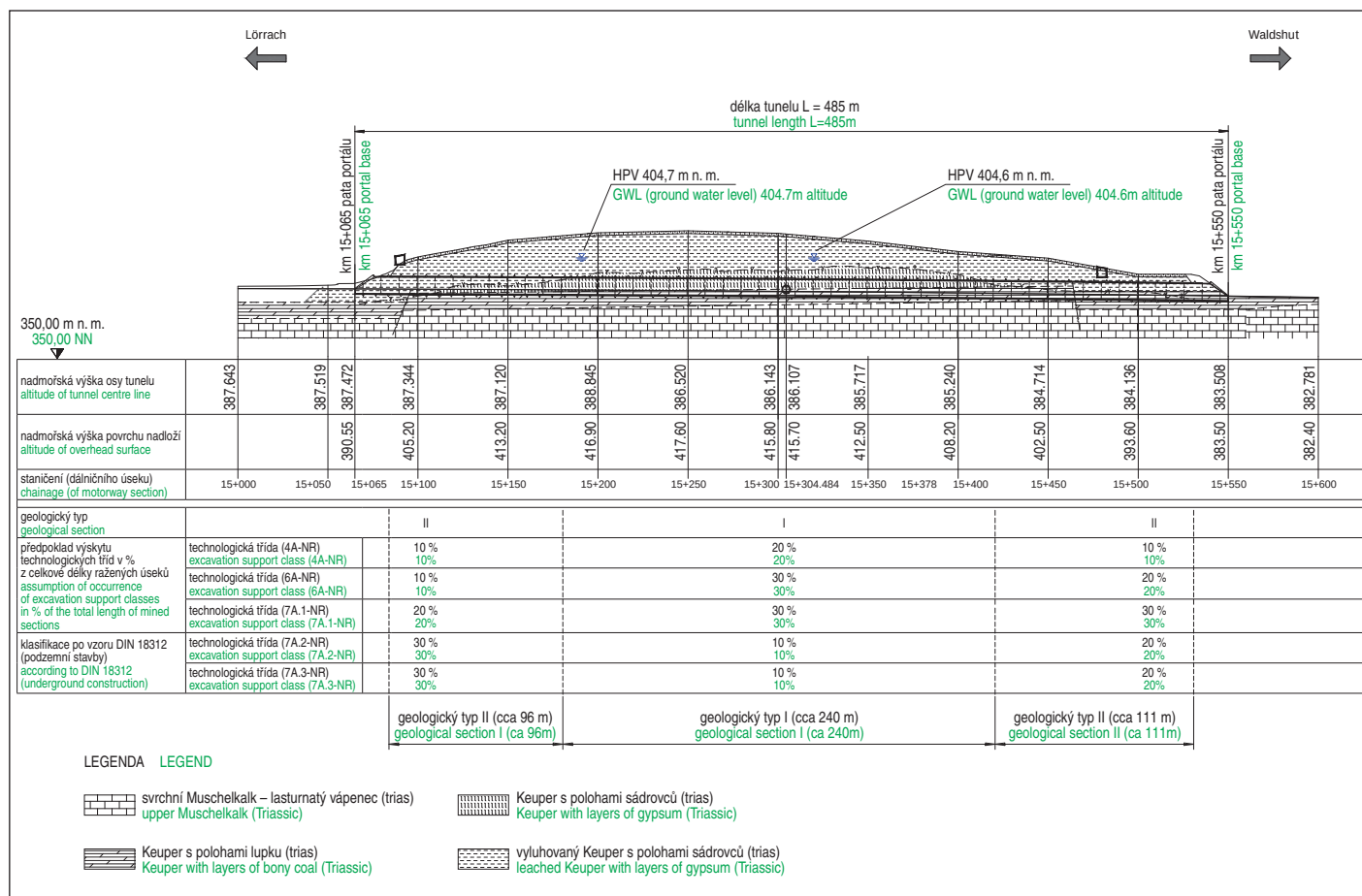
BASIC CONSTRUCTION DATA

name:	Herrschaftsbuck tunnel
project owner:	Regierungspräsidium Freiburg Referat 47.32
construction contractor:	ARGE Herrschaftsbucktunnel BeMo Tunnelling – Subterra
route:	A98 AD Hochrhein – AD Karsau
construction location:	Rheinfelden, Baden-Württemberg area, southeast of Germany
tunnel length:	southern tunnel tube 475.63m northern tunnel tube 485.00m
construction deadlines:	June 2017 (beginning of the work in the tunnel) – January 2020 (construction hand-over)
construction cost:	EUR 31.5 million

GEOLOGICAL CONDITIONS

The Herrschaftsbuck tunnel is located in an area which is ranked in Central German Highlands from the geomorphologic point of view.

According to geological survey, two geological profiles were to be encountered. Dolomitic rock types with a weak occurrence of marlstone and gypsum were predicted for geological profile GA I. This rock environment was never encountered throughout the tunnel excavation period. Claystone with gypsum and marlstone layers alternating with dolomite, in which claystone and bony coal layers could be encountered, were expected in the other profile, GA II. This rock environment was encountered throughout the length of the southern and northern tunnel tubes sections. The assumption of the groundwater presence was very low in both rock



Obr. 2 Podélný řez s geologií – severní tunelová trouba

Fig. 2 Longitudinal geological section – northern tunnel tube

GEOLOGICKÉ POMĚRY

Tunel Herrschaftsbuck se nachází v oblasti, která se z geomorfologického hlediska řadí do Středoněmecké vysočiny.

Dle geologického průzkumu měly být zastíženy dva geologické typy. V geologickém typu GA I byly předpokládány dolomitické horniny se slabým výskytem slínovců a sádrovců. Toto horninové prostředí nebylo po celou dobu ražby zastíženo. V druhém horninovém typu GA II byly očekávány jílovce s vrstvami sádrovce a slínů střídající se s dolomitem, ve kterém se mohly nalézat vrstvy jílovců a lupku. Toto horninové prostředí se nalézalo v celém úseku ražby jižní i severní tunelové trouby. V obou úsecích horninového prostředí byl předpoklad přítomnosti podzemní vody velice malý – maximálně lokální přítoky, zato však zde byla předpokládána možnost výskytu krasových jevů.

V obou tunelových troubach byly ražby prováděny, podle zařazení geologického a geotechnického monitoringu, pouze v GA II. Předpokládané krasové jevy nebyly zastíženy, přítoky podzemních vod odpovídaly očekávání (obr. 2).

KONCEPT TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ

Obě trouby tunelu Herrschaftsbuck byly raženy metodou NRTM od východního portálu se stanoveným odstupem čeleb jednotlivých trub. Zajištění výrubu bylo navrženo systémem předháněných jehel, radiálních kotev a vyztuženým stříkaným betonem. Definitivní ostění je železobetonové, s mezilehlou izolací v raženém úseku. Hloubené části jsou zhotoveny jako tzv. „bílá vana“ (beton s omezeným průsakem vody doplněný systémovými hydroizolačními prvky pro zajištění utěsnění pracovních a dilatačních spár).

Pro rozpojování horninového masivu na jednotlivé dílčí profily ražby byly na 80 % délky tunelu použity trhací práce, zbytek byl profilován a rozpojován mechanicky (zejména v oblastech portálů). Vždy následovalo zajištění čelby vrstvou stříkaného betonu.

Přes velmi nízké nadloží v celé délce tunelu (max. 30 m), byla pro realizaci tohoto úseku dálnice navržena výstavba ražených tunelů, zejména kvůli zachování kontinuity území, které je využíváno mimo jiné jako rekreační oblast pro turisty a přilehlé obce. Při použití jiné technologie výstavby by byla tato oblast nevratně rozdělena obtížně překonatelnou liniovou stavbou.

environment sections – only local inflows as a maximum. On the other hand, the possibility of occurrence of karstic phenomena was assumed.

The excavation in both tunnel tubes was carried out in compliance with the classification following from the geological and geotechnical monitoring only in GA II. The anticipated karstic faults were not encountered and the groundwater inflows corresponded to the expectation (see Fig. 2).

TECHNICAL SOLUTION CONCEPT

Both tubes of the Herrschaftsbuck tunnel were driven from the eastern portal using the NATM, with the prescribed distances between the excavation faces in the individual tubes maintained. The designed excavation support comprised forepoling, radial anchors and reinforced shotcrete. The final lining is made from reinforced concrete; the intermediate waterproofing membrane is in the mined section. The cut-and-cover sections are constructed as the so-called “white tanks” (concrete with reduced seepage of water through the structure, complemented by a system of waterproofing elements securing the tightness of construction and expansion joints).

Blasting was applied to 80% of the tunnel length for disintegration of rock mass in individual excavation sequences. In the remaining tunnel length the rock mass was disintegrated and the excavation profiled mechanically (first of all in the areas of portals). Supporting the excavation face with a shotcrete layer always followed.

Despite the very shallow overburden existing throughout the tunnel length (maximum 30m), the construction of mined tunnels was designed for the realisation of this motorway section, first of all with respect to maintaining the continuity of the area, which is used, among other purposes, as a recreational area for tourists and adjacent municipalities. Should another construction technique be applied, the area would have been irreversibly divided by the hardly surmountable linear structure.

The tunnel is being constructed in compliance with the so-called ZTV-ING (Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten) – Additional technical contractual conditions and directives for civil engineering projects. The technical and quality specifications, in this case first of all

Part 5 – Tunnel Construction, are generally valid and binding for the construction. Realisation of tunnelling projects in Germany is performed unreservedly in compliance with these standards for all project owners, with no own or supplementary technical and quality specifications applied.

Construction site arrangement

The entire construction site arrangement was placed to the area of the eastern tunnel portal. Roadway structural courses including the asphalt sub-base have already been finished in the whole areas in front of the future eastern and western portals. The advantage of an area hardened with asphalt nearly up to the tunnel portals turned out practically immediately after the beginning of the construction operations – no problems were encountered when mechanical equipment was to be brought even under unfavourable climatic conditions (snow, rain) and the surface was easier to maintain. In addition, the completed



Obr. 3 Zařízení staveniště

Fig. 3 Construction site arrangement



Obr. 4 Sklad trhavin před dokončením
Fig. 4 Explosives magazine before completion

Tunel je budován podle tzv. ZTV-ING (Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten) – Do-datečné technické smluvní podmínky a směrnice pro inženýrské stavby. Jedná se o obecně platné a závazné technické a kvalitativní podmínky pro výstavbu, v tomto případě zejména oddíl 5 – Výstavba tunelů. Realizace tunelových staveb v Německu probíhá prakticky bezvýhradně podle těchto standardů pro všechny investory, kteří již dále neaplikují vlastní nebo doplňující technické a kvalitativní podmínky.

Zařízení staveniště

Celé zařízení staveniště bylo umístěno v prostoru východního portálu tunelu. Na celé ploše před budoucím východním i západním portálem byly již dokončeny konstrukční vozovkové vrstvy včetně podkladní asfaltové. Výhoda plochy zpevněné asfaltem skoro až k portálu tunelu se ukázala prakticky hned od začátku realizace stavby – nedocházelo k potížím při nasazení mechanizace i za nepříznivých klimatických podmínek (sníh, déšť) a tato plocha byla mnohem lépe udržovatelná a také dokončené vozovkové vrstvy zásadním způsobem zjednodušily dopravu a logistiku strojů a materiálu. Rozsáhlý prostor předportálů umožnil umístit nejen kancelářskou budovu z kontejnerů, šatny pro personál, sklad, ale i mobilní betonárnu a opravárenskou dílnu s tankovací stanicí a s prostorem pro mytí mechanizace. Pro manipulaci s materiálem na skladovacích plochách byly na staveništi postaveny dva věžové jeřáby. V prostoru zařízení staveniště bylo také nutné připravit řídicí místnost pro velitele záchranných prací a likvidace případné havárie a také šatnu se skladem výstroje a vybavení pro četu záchranných, jež je sestavena z personálu zhotovitele, který prošel speciálním dvoutýdenním školením (obr. 3).

Na staveništi byl zároveň zřízen sklad trhavin a rozbušek. Trhaviny byly skladovány ve čtyřech betonových bunkrech (každý na max. 1000 kg trhavin). Rozbušky v upraveném, k tomuto účelu určeném kontejneru (pro skladování max. 10 000 ks rozbušek), ve kterém byl nainstalován alarm a bezpečnostní zařízení upozorňující přes mobilní telefon na nedovolené vniknutí. Skladovací prostory byly z bezpečnostních důvodů obloženy bigbasy naplněnými pískem (obr. 4). Celý sklad musel být oplocen a uzamčen.

Odpadní vody jsou čerpány do jímky umístěné nad tunely, z níž pak samospádem prochází několika usazovacími nádobami, odlučovačem ropných látek, neutralizační stanicí a ústí do retenční nádrže, z níž se buďto odpaří, nebo odtékají jako povrchová voda.

roadway courses fundamentally simplified transport and logistics of machines and materials. The extensive space in front of the portal allowed for placing not only the office building consisting of containers, changing rooms for staff and a warehouse, but also a mobile concrete batching plant and a repair shop with a refuelling station and a space for washing mechanical equipment. Two tower cranes for handling materials in the storage areas were erected on the construction site. It was in addition necessary to prepare a control room for the chief of rescue operations and liquidation of possible emergencies, as well as a changing room with a stock of gear and equipment for a team of rescuers assembled from contractor's employees, who had passed a special two-week training (see Fig. 3).

An explosives and detonators magazine was also built on the site. Explosives were stored in four concrete bunkers (each for 1000kg of explosives). Detonators were stored in a container designed for this purpose (for storing 10,000 pieces of detonators as the maximum), in which an alarm and safety equipment alerting through a mobile phone to unauthorised entries was installed. Storage spaces were covered with big bags filled with sand for safety reasons (see Fig. 4). The whole magazine had to be fenced and locked.

Foul water is pumped to a cesspool located above the tunnels, from which it flows by gravity through several settling tanks, an oil separator and a neutralisation station, and ends in a retention basin, from which it either evaporates or flows away as surface water.

The construction site approach and exit ramps lead directly to the A98 motorway and the perfect cleanness of exiting vehicles has to be taken care of for safety reasons. This is why two automatic pressure wheel washing stations were established, first one on the exit from the space of the intermediate stockpile in front of the eastern portal of the tunnel and the other just before the entry to the motorway.

Establishment of the stockpile and disposing of materials excavated from the cuttings and the tunnel was also part of the contract. The stockpile for disposal of the materials is located at the distance of ca 10km from the tunnel. This stockpile was continually used for disposing materials from the construction of the whole motorway section. The total volume of the deposited material amounts nearly to 2 million m³. The stockpile was gradually reclaimed and incorporated back into the surrounding biotope. The part of the stockpile operated by us was covered with a layer of humus immediately after the end of depositing materials on it, and was seeded with grass suitable for pasture of horses from a nearby farm (see Figures 5a and 5b).

Temporary portals (pre-cuttings)

It was necessary to create two pre-cuttings in the locations of the future portals prior to commencing the excavation of the tunnel tubes. Both pre-cuttings are only temporary; they are stabilised with grouted soil nails installed at 3x3m grid, and a 150mm respectively 200mm thick layer of C25/30 shotcrete, which was perforated so that free flowing of groundwater through it was possible. Drilling for a spiling umbrella (two tiers, 8m long spiles) was carried out on both the eastern side and western side and a pre-tunnel canopy was constructed for stabilisation of the portals. The pre-tunnel canopy was founded on 500mm deep footings. It was constructed from load-bearing lattice girders, welded mesh and a 400mm thick shotcrete layer. Geomonitoring of both cuttings was conducted by surveyors measuring the movements of convergence points installed on both sides of the cuttings. In the eastern cutting, this measurement was conducted manually once a week, whilst the



Obr. 5a Oblast deponie v průběhu výstavby
Fig. 5a Area of the stockpile during the construction

Nájezd na staveniště a výjezd z něj vede přímo na dálnici A98, z tohoto důvodu se kvůli bezpečnosti provozu musí dbát na vysokou čistotu vyjíždějících vozidel. Proto byly zřízeny dvě automatické tlakové myčky kol – první na výjezd z prostoru mezideponie před východním portálem tunelu a druhá těsně před vjezdem na dálnici.

Součástí zakázky bylo i vybudování deponie a deponování vyrubaného materiálu ze zářezů a tunelu. Vlastní skládka pro uložení materiálu se nalézá v cca 10km vzdálenosti od tunelu. Tato skládka byla průběžně používána pro ukládání materiálu ze stavby celého úseku dálnice. Celkový objem uloženého materiálu je bezmála 2 mil. m³. Postupně byla skládka rekultivována a začleňována zpět do okolního biotopu. Část deponie provozovaná zhotovitelem se ihned po ukončení ukládání materiálu zakryla vrstvou humusu osetého travinami vhodnými pro pastvu koní z nedalekého statku (obr. 5a+5b).



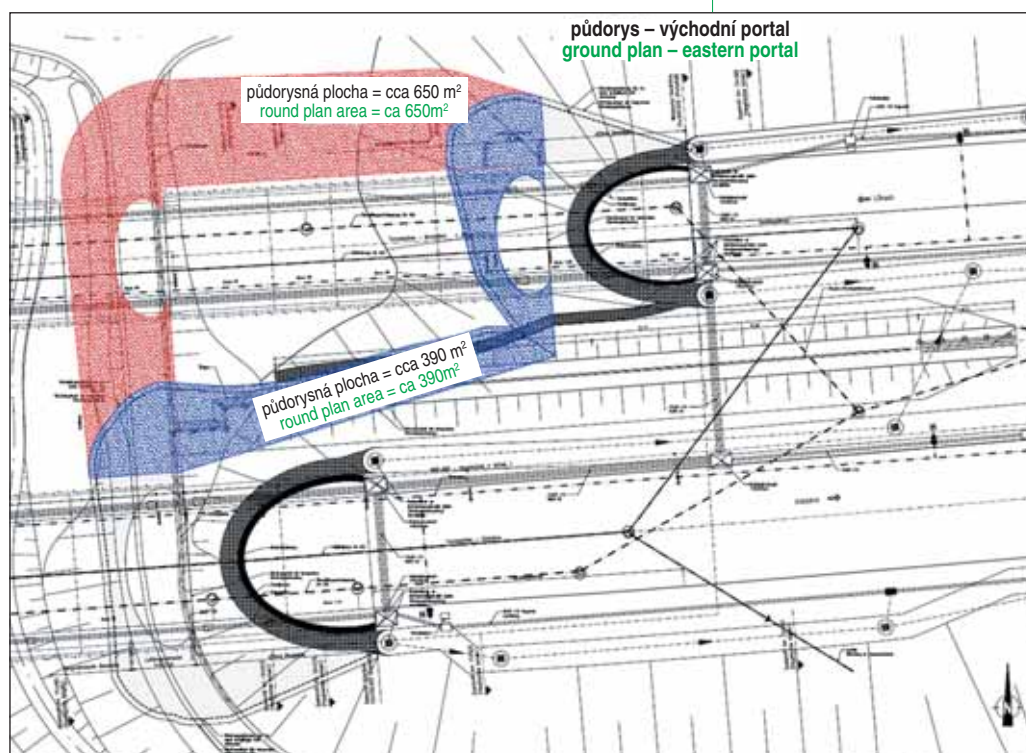
Obr. 5b Oblast deponie po rekultivaci území
Fig. 5b Area of the stockpile after reclamation

western cutting was surveyed automatically every 12 hours by a permanently installed measurement station.

The eastern cutting, from which the driving of both tunnel tubes was to be started, was excavated first (June 2017). Significant optimisation was applied to the northern tube. The risky excavation under the protection of a canopy tube pre-support umbrella under very shallow and heavily weathered overburden (the blue part) was abandoned. Instead, the cutting was extended and deepened – the blue part, thus the length of the mined section of the northern tunnel tube was reduced approximately by 30m (see Fig. 6).

3D photogrammetry survey using a drone was conducted prior to the commencement of the excavation of the western cutting. It found out that local landslides caused by the action of surface water on heavily weathered rock happened. The cause of the changes lay in the earthmoving operations up the tunnel portal conducted earlier, within the framework of the construction of the

previous motorway section over 10 years before. Because one of the landslides extended up to the area of the originally planned mined section of the northern tunnel tube, the geometry of the cutting had to be modified. In contrast with the modification of the eastern cutting, in this case the overburden was only partially removed and the area of the future breakthrough was spanned by a reinforced concrete structure (6.67m long), using the so-called “tortoise shell” method – cover-and-cut (see Fig. 7). For the above-mentioned reason the work on the western cutting could be commenced as late as September 2017. The geometry of the upper excavation benches was changed, the widths of the berms was increased during the work operations so that other complications which could be caused by local landslides were



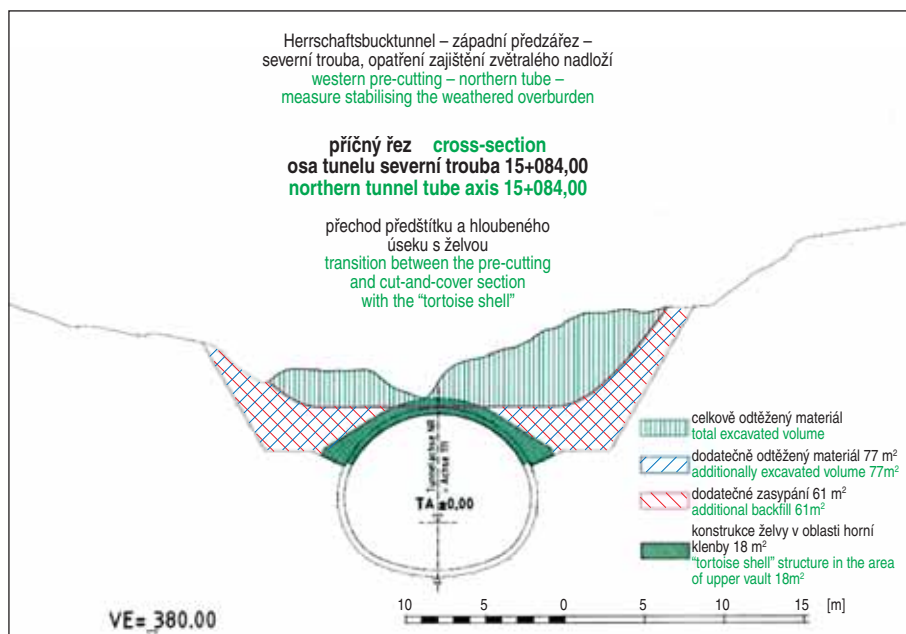
Obr. 6 Změna délky hloubeného úseku severní trouby ve východním zářezu
Fig. 6 Changed length of the cut-and-cover section of the northern tunnel tube in the eastern cutting

Provizorní portály (předzářezy)

Před zahájením ražeb tunelových trub bylo zapotřebí v místě budoucích portálů vytvořit dva zářezy. Oba zářezy jsou pouze dočasné, jsou zajištěny injektovanými zemními hřebíky v rastru 1,5×1,5 m a vrstvou stříkaného betonu C25/30 tl. 150 a 200 mm, jež byla, pro umožnění volného protékání podzemních vod, perforovaná. Pro zajištění portálů byl na obou troubách navrtán na východní i západní straně jehlový deštník (dvě řady, délka 8 m) a vybudován tzv. předštítok. Předštítok kaloty byl založen na základové pásy o hloubce 500 mm, zkonstruován byl z příhradových nosných rámců, svařovaných ocelových sítí a stříkaného betonu o celkové tloušťce 400 mm. Geomonitoring obou zářezů byl prováděn geodetickým měřením pohybů konvergenčních bodů umístěných na stěnách zářezů. Ve východním zářezu bylo toto měření prováděno manuálně jednou týdně a v západním automaticky každých 12 hodin trvale umístěnou měřicí stanicí.

Jako první byl hlouben východní zářez (červen 2017), ze kterého bylo naplánováno začít i ražby obou trub. Zde došlo u severní trouby k velké optimalizaci. Upustilo se od rizikové ražby pod ochranným mikropilotovým deštníkem s velice nízkým a silně zvětralým nadloží – modrá část. Místo toho došlo k rozšíření a prohloubení zářezu, a tím zkrácení ražené části severní tunelové trouby přibližně o 30 m – červená část (obr. 6).

Před prováděním prací na západním zářezu bylo provedeno 3D fotogrammetrické zaměření dronem. Výsledkem bylo zjištění, že došlo k lokálním sesuvům zapříčiněným působením povrchové vody na silně zvětralé horniny. Příčinou těchto změn bylo provedení zemních prací až k tunelovému portálu již v rámci výstavby předchozího úseku dálnice před více než 10 lety. Protože jeden ze sesuvů zasahoval až do oblasti původně plánované ražené části severní trouby, musela být geometrie zářezu upravena. Na rozdíl od úpravy geometrie východního zářezu zde došlo jen k částečnému odtěžení nadloží a překlenutí oblasti budoucí prorážky železobetonovou konstrukcí (délky 6,67 m) tzv. želvou (obr. 7). Z těchto dů-



Obr. 7 Schéma – příčný řez želvou a horninou k odtěžení

Fig. 7 Diagram – cross-section through the cut-and-cover and the rock to be removed

prevented. After deepening the cutting to the fourth berm, the whole slope between the southern and northern tubes started to move and several continually enlarging cracks appeared in the adjacent slope (see Fig. 8). The earthwork operations at the base of the slope were temporarily interrupted, the so-called surcharging berms were left in place and 12m long rock bolts reaching up to the primary lining of the southern tube were installed with the objective to partially stabilise the excavation. The definitive stabilisation of the sliding slope was achieved only after the southern tunnel tube breakthrough by excavating its bottom and closing the tunnel lining ring within the critical section.

Tunnel excavation

The excavation of both tunnel tubes proceeded from the eastern portal towards the western portal; the excavation commenced in August 2017 and was finished in April 2018. The excavation faces in the northern double-lane tunnel tube as well as the southern triple-lane tube were divided horizontally into top heading, bench and bottom.



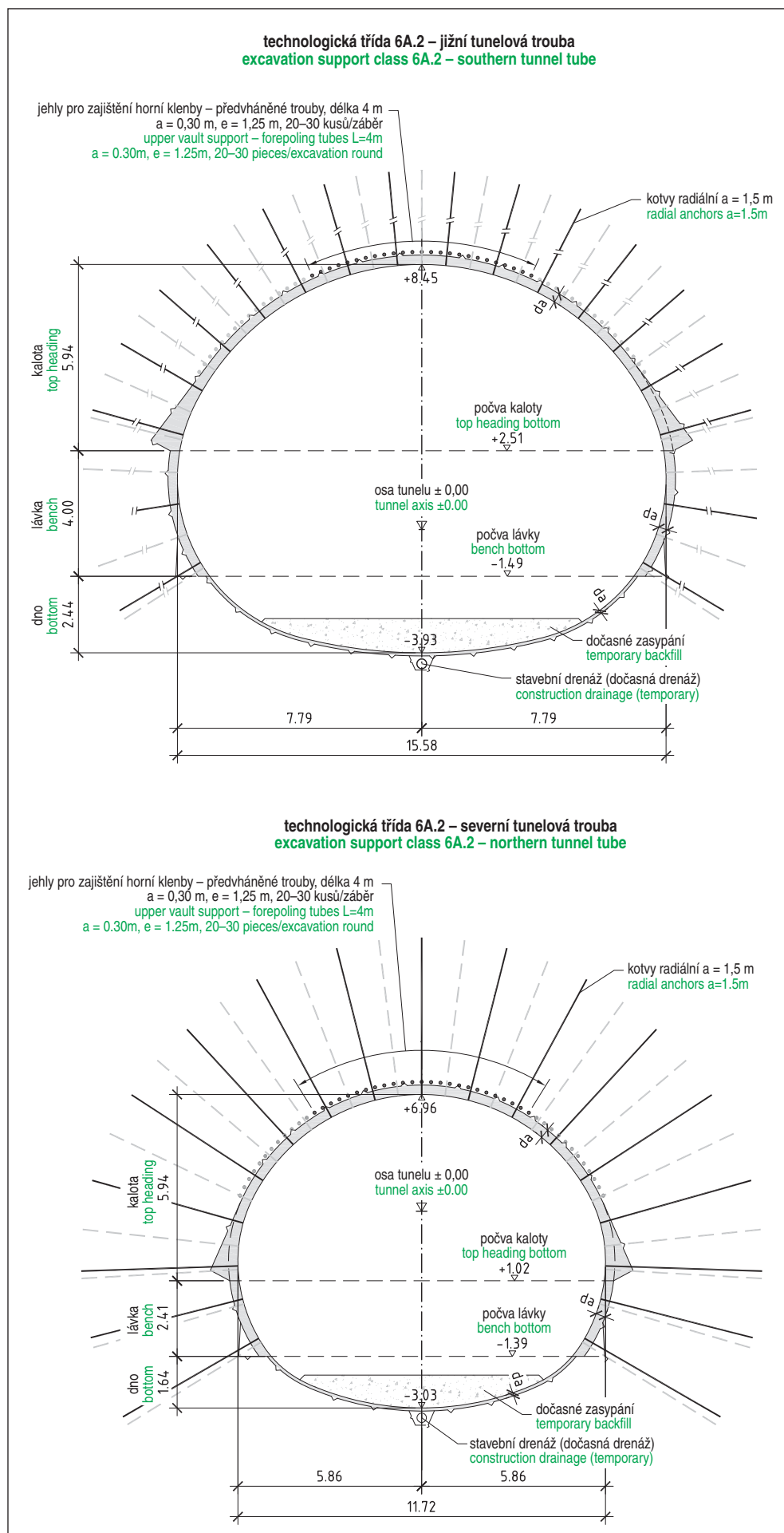
Obr. 8 Předštítok jižní tunelové trouby v západním zářezu (nad ním jsou patrné trhliny vzniklé pohybem svahu)

Fig. 8 Pre-tunnel canopy at the southern tunnel tube in the western cutting (cracks caused by the slope movements are visible above it)



Obr. 9 Čelba kaloty – geologický profil severní trouba

Fig. 9 Top heading excavation face – geological profile of the northern tunnel tube



Obr. 10 Příčný řez zajištěním výrubu při ražbě ve třídě 6A.2 – jižní + severní tunelová trouba

Fig. 10 Cross-section through the excavation support for support class 6A.2 – southern + northern tunnel tubes

In the northern tube, the total excavated cross-sectional area amounted to 100m²; of this area top heading 64m², bench 29m² and bottom 14m². In the southern tube, the total excavated area amounted to ca 160m², of this area top heading 78m², bench 64m² and bottom 24m² (see Fig. 9).

The designer proposed seven excavation support classes in total and the ground environment was categorised into them. The excavation support categorisation into individual classes was practically identical for both tunnel tubes:

4A.1 and 4A.2 – unused in cases of encountering very favourable conditions;

6A.1 – unused;

6A.2 – used with modifications applied to 80% of the tunnel length; excavation face disintegration was carried out mechanically or using blasting in the sequentially excavated profile; the face was supported with a 50mm thick layer of shotcrete. The excavation vault was supported in each excavation round with forepoling formed by S235 JR tubes with the outer diameter of 38mm, 4mm thick walls, installed at 300mm spacing (the tubes were replaced with spiles from 4m long concrete reinforcing bars 32mm in diameter (20–30 pieces per round). The excavation round length amounted to 1.25m. The top heading lining was provided by 165-30-20/200 lattice girders made of steel grade B500B (centre to centre spacing = excavation advance length), two layers of Q257A KARI welded mesh and two layers of C25/30, XC3, XF1 shotcrete with the total thickness of 300mm. SN-type grouted rock bolts 25mm in diameter and 4m long were used for radial anchoring (11 respectively 12 pieces for the northern tube and 14 respectively 15 pieces for the southern tube per one excavation advance length. The radial spacing amounted to 1.5m and the load bearing capacity of 150kN was designed. The enlargement of the top heading footings width to form the so-called “elephant foot” was carried out as needed. The bench and bottom excavation was carried out without dependence on the distance of the excavation face. Identical rules as those designed for the top heading were applied to the lining of the bench. The excavation round length in the bench



Obr. 11 Protiklenba budovaná v kalotě (falešné dno)

Fig. 11 Invert constructed in the top heading (false bottom)

vodů mohly být práce na západním zářezu započaty až v listopadu 2017. Pro předejití dalších komplikací, které mohly být způsobeny lokálními sesuvy, byla v průběhu prací změněna geometrie horních etáží, které byly rozšířeny. Po prohloubení zářezu na čtvrtou etáž se začal pohybovat celý svah mezi jižní a severní tunelovou troubou, objevilo se několik stále se zvětšujících trhlin v zajištění přilehlého svahu (obr. 8). Pro částečnou stabilizaci byly v patě tohoto svahu dočasně ukončeny zemní práce, zanechány tzv. přítěžovací lavice, dále bylo provedeno kotvení 12 m dlouhými svorníky až do primárního ostění jižní trouby. Definitivně stabilizovat se tento sesouvající se svah podařilo až po prorážce jižní tunelové trouby vyražením jejího dna, a tím uzavřením prstence tunelového ostění v kritickém úseku.

Ražba tunelu

Ražby obou trub probíhaly od východního portálu k západnímu, ražby začaly v srpnu 2017 a dokončeny byly v dubnu 2018. Čelba byla jak v severní dvoupruhové troubě, tak v jižní třípruhové troubě horizontálně členěna na kalotu, lávku a dno.

Severní trouba měla celkovou plochu výrubu cca 100 m², z toho kalota 64 m², lávka 29 m² a dno 14 m². Jižní trouba měla celkovou plochu výrubu cca 160 m², z toho kalota 78 m², lávka 64 m² a dno 24 m² (obr. 9).

Projektantem bylo navrženo celkem sedm technologických tříd, do kterých se zařičovalo zastižené horninové prostředí. Pro obě tunelové trouby je navrženo zajištění v jednotlivých třídách prakticky stejné:

4A.1 a 4A.2 – při zastižení velice dobrých podmínek, nepoužito;

6A.1 – nepoužito;

6A.2 – použito s modifikacemi v 80 % délky tunelu, rozpojování čelby strojně nebo pomocí trhačích prací v členěném profilu, zajištění čelby 50 mm vrstvou stříkaného betonu. Zajištění klenby v každém záběru předháněnými rourami S235 JR s vnějším průměrem 38 mm tl. 4 mm s rozestupy 300 mm (roury byly nahrazeny jehlami z betonářské oceli o průměru 32 mm) délky 4 m v počtu 20–30 ks na jeden záběr. Délka záběru činila 1,25 m. Ostění kaloty bylo zajišťováno příhradovým nosníkem 165-30-20/200 z oceli B500B (osová vzdálenost = délka záběru), dvěma vrstvami KARI sítě Q257A a dvěma vrstvami stříkaného betonu C25/30, XC3, XF1 o celkové mocnosti 300 mm. Pro radiální kotvení byly použity injektované svorníky typu SN o průměru 25 mm, délky 4 m pro severní troubu v počtu 11, resp. 12 ks a pro jižní troubu 14, resp. 15 ks na jeden záběr. Radiální vzdálenost byla 1,5 m a navržená

was set at 2.5m (twice as much as the length of the excavation round in the top heading). The bottom was supported without radial anchoring, with one Q257A welded mesh layer inserted into the structure and a 100mm thick layer of C25/30, XC3, XF1 shotcrete. The excavation advance round was twice as long as the excavation round in the bench (5m) (see Fig. 10);

7A.1 class – used in worsened conditions for 20% of the tunnel length. Excavation round length of 1.0m was adhered to. Excavation face was disintegrated only mechanically, without blasting. The face excavation was supported with a 70mm thick layer of shotcrete with Q188A welded mesh inserted in it. Excavation face was anchored with 8m long IBO R32-250 self-drilling anchors (the quantity as needed) installed in each fourth excavation round. The vault was supported with forepoling – 30–40 pieces of S235 JR tubes with internal diameter of 38mm and 4mm thick walls, spaced at 300mm (the tubes were replaced with concrete reinforcement bars 32mm in diameter). The lining was supported with 165-30-20/200 lattice girders made of B500B grade steel (the centre to centre spacing = excavation round length), two layers of Q335A KARI welded mesh and two layers of C25/30, XC3, XF1 shotcrete, 350mm thick in total. Radial anchoring was carried out using 4m long SN-type groutable rock bolts 25mm in diameter, 15 respectively 16 pieces for the northern tunnel tube and 17 respectively 18 pieces per one round for the southern tunnel tube. The radial spacing of 1.5m and the load-carrying capacity of 150kN were used. The enlargement of the top heading footings width by 700mm to form the so-called “elephant foot” was carried out, using Q257A welded mesh reinforcement. Closing of the top heading profile with an invert, the so-called false bottom with the thickness and reinforcement identical with that applied to the top heading lining, was carried out in every other excavation round (see Fig. 11). Owing to the false bottom, it is not necessary to excavate the bench in dependence on the distance from the excavation face. Rules applicable to the lining of the bench are identical with the rules applied to the top heading. The excavation round length in the bench amounts to 2.0m (twice as long as the length of the round in the top heading). The bottom excavation had to follow after maximally 6 excavation rounds behind the bench excavation. The bottom excavation was supported with two layers of Q335A welded mesh and a 350mm thick layer of C25/30, XC3, XF1 shotcrete. The length of the excavation round is identical with the excavation round length in the bench (2.0m);

7A.2 unused, similarly to 7A.1, in addition with anchoring of the enlarged-width of the top heading footing;

7A.3 unused, the excavation under canopy tube pre-support.

The following division of tunnels was applied, depending on the type of construction and the excavation support classes applied:

Northern tunnel tube viewed according to chainage (TM – tunnel metres) from the eastern portal:

- TM 0.00 – TM 43.92 cut-and-cover section – eastern portal;
- TM 43.92 – TM 48.22 pre-tunnel canopy area – eastern portal;
- TM 48.22 – TM 51.22 class 7A.1;
- TM 51.22 – TM 239.97 class 6A.2;
- TM 239.97 – TM 251.22 class 6A.2 (enlarged width at the cross passage);
- TM 251.22 – TM 448.72 class 6A.2;
- TM 448.72 – TM 460.82 class 7A.1;
- TM 460.82 – TM 467.49 excavation under the so-called “tortoise shell”;
- TM 467.49 – TM 471.08 pre-tunnel canopy – western portal;
- TM 471.08 – TM 485.00 cut-and-cover section – western portal.



Obr. 12a Otevírání a zajišťování čelby po částech při zhoršení horninového prostředí (jižní trouba)

Fig. 12a Sequential opening and supporting the excavation face in worsened ground environment (southern tunnel tube)

únosnost 150 kN. Rozšíření paty kaloty do tzv. sloní nohy bylo realizováno podle potřeby. Lávku a dno nebylo potřeba dobírat v závislosti na vzdálenosti od čelby. Pro ostění lávky platila stejná pravidla jako pro kalotu. Délka záběru v jádře byla stanovena na 2,5 m (2× délka záběru v kalotě). Zajištění dna bylo realizováno bez radiálního kotvení, s jednou vloženou sítí Q257A a 100 mm silnou vrstvou stříkaného betonu C25/30, XC3, XF1. Délka záběru byla dvojnásobná než délka záběru v jádře (5 m) (obr. 10);

7A.1 – použito při zhoršených podmínkách v 20 % délky tunelu. Délka záběru 1,0 m. Rozpojování čelby pouze strojně bez použití trhacích prací. Zajištění čelby 70mm vrstvou stříkaného betonu s vloženou sítí Q188A. Kotvení čelby samozávrtnými kotvami IBO R32-250 v délce 8 m v počtu podle potřeby, realizované v každém 4. záběru. Zajištění klenby v každém záběru předháněnými rourami S235 JR s vnějším průměrem 38 mm tl. 4 mm s rozestupy 300 mm (roury byly nahrazeny jehlami z betonářské oceli o průměru 32 mm) délky 4 m s rozestupy 300 mm, v počtu 30–40 ks. Ostění zajišťováno příhradovým nosníkem 165-30-20/200 z oceli B500B (osová vzdálenost = délka záběru), dvěma vrstvami KARI sítí Q335A a dvěma vrstvami stříkaného betonu C25/30, XC3, XF1 o celkové mocnosti 350 mm. Pro radiální kotvení byly použity in-



Obr. 12b Otevírání a zajišťování čelby po částech při zhoršení horninového prostředí (severní trouba)

Fig. 12b Sequential opening and supporting the excavation face in worsened ground environment (northern tunnel tube)

Southern tunnel tube divided as follows:

- TM 0,00 – TM 18,00 cut-and-cover section – eastern portal;
- TM 18,00 – TM 23,94 cut-and-cover section – eastern portal;
- TM 23,94 – TM 25,30 class 7A.1;
- TM 25,30 – TM 209,05 class 6A.2;
- TM 209,05 – TM 219,05 class 6A.2 (enlarged width at the cross passage);
- TM 219,05 – TM 424,55 class 6A.2;
- TM 424,55 – TM 453,46 class 7A.1;
- TM 453,46 – TM 459,20 pre-tunnel canopy area – western portal;
- TM 459,20 – TM 475,63 cut-and-cover section – western portal.

Class 6A.2 with minor modifications was used in the majority of cases – the quantity of piles in the umbrella was increased, 16m long IBO anchors had to be installed even to the excavation face and the face excavation sequence comprised more partial areas – ranging from 2 to 7, applied as needed (see Figures 12a and 12b). The top heading height in the northern tunnel tube was optimised (the bench height was reduced by 1m with the objective to accelerate the work so that concreting of the final lining could start as early

as possible so that bigger and more powerful mechanical equipment could be applied (concretely Liebherr 944 tunnel excavator). Other optimisation lay in enlarging the width of the cross passage through which moving of the muck from the northern tunnel tube is planned after the cross passage breakthrough.

The first work began in the northern tunnel tube, whilst the excavation of the southern tube commenced with a three-week delay. Both tubes were driven on an uphill gradient. The northern tube was driven in the following sequence of time: top heading excavation up to the area just behind the cross passage, initial two rounds of excavation of the cross passage (securing the side stub), excavation of the bench from the eastern portal up to the cross passage, after completion, excavation of the bottom backward from the cross passage towards the eastern portal. After completion



Obr. 13 Ražba lávky severní trouby

Fig. 13 Northern tube bench excavation

jektované svorníky typu SN o průměru 25 mm, délky 4 m pro severní troubu v počtu 15, resp. 16 ks a pro jižní troubu 17, resp. 18 ks na jeden záběr. Radiální vzdálenost byla 1,5 m a navržená únosnost 150 kN. Rozšíření paty kaloty do tzv. sloní nohy o 700 mm s vložkou sítí Q257A. Každé dva záběry uzavírání kaloty protiklenbou, tzv. falešným dnem o stejné tloušťce a se stejnou výztuží jako ostění kaloty (obr. 11). Lávku díky falešnému dnu není potřeba dobírat v závislosti na vzdálenosti od čelby. Pro ostění lávky platí stejná pravidla jako pro kalotu. Délka záběru v jádře je 2,0 m (2× délka záběru v kalotě). Dno muselo následovat maximálně 6 záběrů za ražbou lávky. Zajištění dna by bylo bez radiálního kotvení, s dvěma vrstvami vložených sítí Q335A a 350 mm silnou vrstvou stříkaného betonu C25/30, XC3, XF1. Délka záběru byla stejná jako délka záběru v lavici (2,0 m);

7A.2 nepoužito, obdobně jako 7A.1 navíc s kotvením rozšířené paty kaloty;

7A.3 nepoužito, ražba pod ochranným mikropilotovým deštníkem.

Členění tunelů podle typu výstavby a podle použitých technologických tříd bylo následující.

Severní tunelová trouba podle staničení od východního portálu:

- TM 0,00 – TM 43,92 hloubený úsek – východní portál;
- TM 43,92 – TM 48,22 oblast předstítku – východní portál;
- TM 48,22 – TM 51,22 třída 7A.1;
- TM 51,22 – TM 239,97 třída 6A.2;
- TM 239,97 – TM 251,22 třída 6A.2 (rozšíření v místě tunelové propojky);
- TM 251,22 – TM 448,72 třída 6A.2;
- TM 448,72 – TM 460,82 třída 7A.1;
- TM 460,82 – TM 467,49 ražba pod tzv. želvou;
- TM 467,49 – TM 471,08 oblast předstítku – západní portál;
- TM 471,08 – TM 485,00 hloubený úsek – západní portál.

Jižní tunelová trouba byla rozdělena takto:

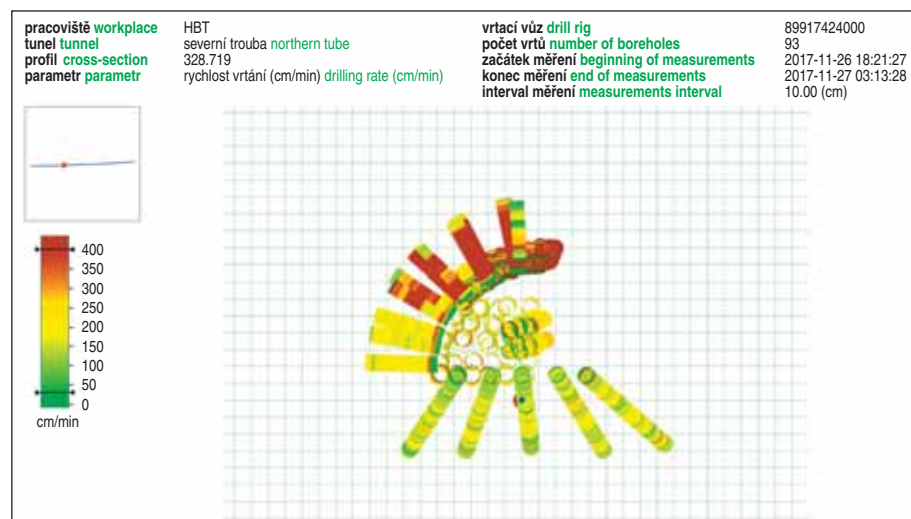
- TM 0,00 – TM 18,00 hloubený úsek – východní portál;
- TM 18,00 – TM 23,94 oblast předstítku – východní portál;
- TM 23,94 – TM 25,30 třída 7A.1;
- TM 25,30 – TM 209,05 třída 6A.2;
- TM 209,05 – TM 219,05 třída 6A.2 (rozšíření v místě tunelové propojky);
- TM 219,05 – TM 424,55 třída 6A.2;
- TM 424,55 – TM 453,46 třída 7A.1;
- TM 453,46 – TM 459,20 oblast předstítku – západní portál;

of the bottom excavation it was possible to start concreting of the final lining in the northern tunnel tube in the direction of the eastern portal. Further on, the top heading excavation continued up to the northern tube breakthrough at the western portal (January 2018). The bench and bottom excavation was completed subsequently (see Fig. 13). The excavation heading was supplied and muck was moved from this part of the northern tube through the cross passage and the southern tube. The excavation in the southern tunnel tube proceeded in the following sequence: the excavation of the top heading from the eastern cutting just behind the cross passage, the excavation was deepened in the area of the cross passage and ramps were carried out. The cross passage excavation broke to the northern tunnel tube subsequently. Then the top heading excavation continued up the southern tube breakthrough at the western portal (March 2018) and, in the end, the excavation of the bench and bottom was finished throughout their length.

Blasting was used in the sections where it was not possible to disintegrate the rock with a tunnel excavator. The majority of shot firing cases was applied in parts, not to the whole top heading profile. Riohit AL emulsion explosive was used for the blasting operations. Blasting operations in the northern tube started approximately 100m from the eastern portal, whilst in the southern tunnel tube they started ca 50m from the eastern portal. In the top heading of the northern tunnel tube, blast holes were loaded with 40kg of explosive per excavation round; in the top heading of the southern tube the maximum of 80kg of explosives was used per excavation round. A V-cut blast pattern was used. The non-electrical firing system with one initiation electric detonator was used. Maximum number of excavation rounds per day amounted to three (3.75m) in the southern tunnel tube and four (5.00m) in the northern tunnel tube. Blasting was also applied to the excavation of the bench and bottom, with the drilling, loading of holes and disintegration of the bottom carried out simultaneously with the work on the bench. The disintegrated rock from the bench was removed continually; the muck on the bottom was left in place. After the completion of the excavation of the bench, it was no more necessary to drill blast holes and load them with explosives. The muck was only removed and the excavation contour was scaled mechanically.

An automated total station and a tablet with the software supplied by AMBERG were applied to land surveying purposes. Tunnelling crews were able to work with this system independently, without necessity for physical presence of a surveyor, who conducted only setting of the system, subsequent downloading of data and regular inspections including measuring of convergences. The main objectives of the survey were lattice girders being erected and the size of the excavated cross-section. In addition, the excavation and the following primary lining structure were scanned.

Convergence points for monitoring deformations were installed on the primary lining. Because of the expectation of the occurrence of karstic phenomena, holes 10m long were drilled each third excavation round into the top heading, bench and bottom face advance core, always five pieces. A standard drill rig Atlas Copco Rocket Boomer E2C with the MWD technology (Measurement While Drilling) installed on it (see Fig. 14), used for recording the thrust of bites, consumption



Obr. 14 Vyhodnocení dat naměřených zařízením MWD (výstup z programu Underground Manager)

Fig. 14 Assessment of data measured with MWD technology (output from the Underground Manager software)

- TM 459,20 – TM 475,63 hloubený úsek – západní portál.

Ve většině délky obou trub byla použita třída 6A.2 s drobnými modifikacemi – bylo zvětšeno množství jehel v deštníku, musela být kotvena i čelba IBO kotvami 16 m dlouhými a čelba byla členěna podle potřeby na více dílčích ploch – od dvou až do sedmi (obr. 12a+12b).

Z důvodu co nejvyšší akcelerace prací, proto aby betonáže definitivního ostění mohly začít co možná nejdříve, došlo ještě před započatím ražeb k optimalizaci výšky kaloty v severní rouři (snížení výšky lávky) o 1 m, aby bylo možné nasadit větší a silnější mechanizaci, konkrétně tunelbagr Liebherr 944. Dále došlo k optimalizaci – rozšíření tunelové propojky, přes kterou byla naplánována po proražce propojky těžba rubaniny ze severní trouby.

Nejprve byla zahájena ražba na severní tunelové troubě, ražba jižní trouby byla zahájena s třítydenním odstupem. Obě trouby byly raženy dovrchně. Severní trouba byla ražena v tomto časovém sledu – ražba kaloty do oblasti těsně za propojku, první dva záběry propojky (zajištění rozrážky), ražba lávky od východního portálu k propojce, po dokončení ražba dna pozpátku od propojky k východnímu portálu. Po dokončení ražby dna bylo možno zahájit betonáže definitivního ostění v severní tunelové troubě směrem od východního portálu. Dále pokračovala ražba kaloty až do proražky severní trouby na západním portálu (leden 2018) a poté se dorazila i lávka a dno (obr. 13). Zásobování čelby a odvoz rubaniny této části severní trouby probíhaly skrze propojku a jižní troubu. Ražby v jižní tunelové troubě měly toto pořadí – ražba kaloty z východního zářezu těsně za propojku, v prostoru propojky došlo k prohloubení a vybudování nájezdových ramp. Poté byla proražena propojka do severní tunelové trouby. Následně pokračovala ražba kaloty až k proražení jižní trouby na západním portálu (březen 2018) a nakonec byla v celé délce dobrána lávka a dno.

V místech, kde nebylo možné rozpojovat horninu tunelovým rýpadlem, byly využity trhačí práce, většina odpadů čelby kaloty nebyla realizována na celý profil kaloty, ale po částech. Pro trhačí práce byla použita emulzní trhavina Riohit AL. Trhačí práce byly započaty v severní troubě přibližně 100 m od východního portálu a v jižní troubě cca 50 m od východního portálu. V kalotě severní trouby bylo nabíjeno do 40 kg trhaviny na jeden záběr, v kalotě jižní trouby to bylo maximálně 80 kg trhaviny na jeden záběr. Typ zálomu byl požíván sbíhavý – klínový. Typ roznětu byl neelektrický s jednou iniciační elektrickou rozbuškou. V jižní tunelové troubě bylo dosahováno maximálních výkonů tři záběry (3,75 m) a v severní čtyři záběry (5,00 m) denně. Trhačí práce byly využity i při ražbě lávky a dna, přičemž bylo dno vrtáno, nabíjeno a rozpojováno současně s lávkou. Rozpojená rubanina lávky se odtěžovala průběžně, rubanina ve dně se nechávala na místě. Po dokončení ražby lávky již nebylo nutné dno znovu vrtat a nabíjet, ale bylo pouze odtěženo a strojně doprofilováno.

Pro zeměměřičské práce byl nasazen systém automatizované totální stanice + tabletu se softwarem dodávaným firmou AMBERG. S tímto systémem mohly na čelbě pracovat osádky samostatně bez nutnosti fyzické přítomnosti geodeta, který prováděl pouze nastavování systému, následné stahování dat a pravidelné kontroly vč. měření konvergencí. Takto byly zaměřovány zejména příhradové



Obr. 15 Záchránná kapsle
Fig. 15 Rescue capsule

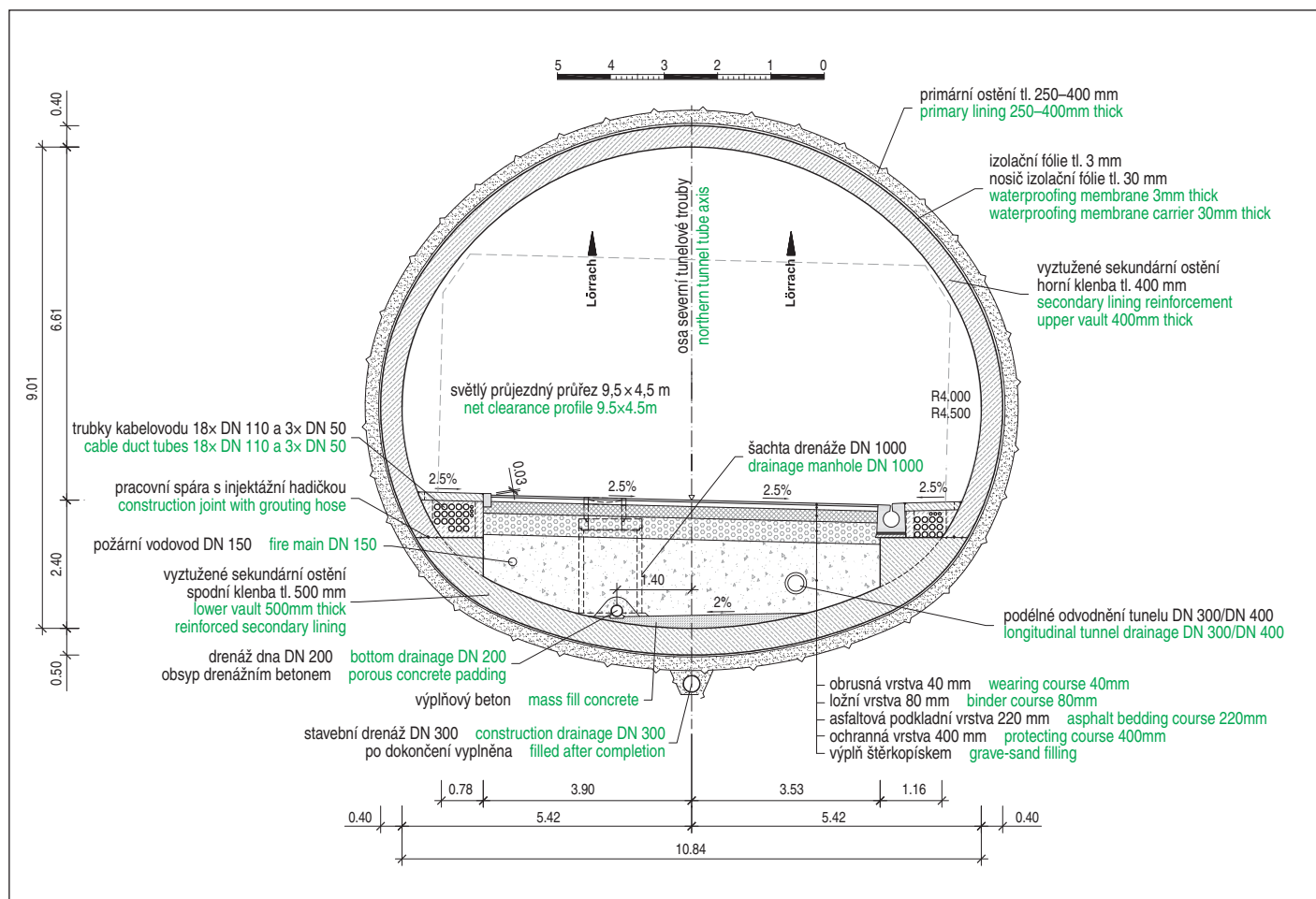
of flushing water, flushing water pressure, drilling rate and other parameters monitored during the course of drilling. This data could be downloaded from the computer on the rig to a USB disk and it was possible to assess on its base whether a natural cavern was or was not hit and, at the same time, to assess changes in the rock environment.

According to safety regulations, each tunnel tube had to be equipped with the so-called “rescue capsule” during the excavation. It was a resistant airtight container to which the crew (up to 16 persons) could be enclosed in a case of the occurrence of non-breathable atmosphere to survive in it until the help got to it. This “capsule” had its own source of air in pressure cylinders and the atmosphere inside would have to be maintained in a slight positive pressure condition in a case of the use. The usability duration always depends on the number of sheltered persons (information table installed inside the container). The use was assumed only for the case of a fire in the tunnel, the affected tunnel tube had to be vacated. The container was installed on two skids and it was therefore very easy to move it during the excavation (see Fig. 15).

Waterproofing

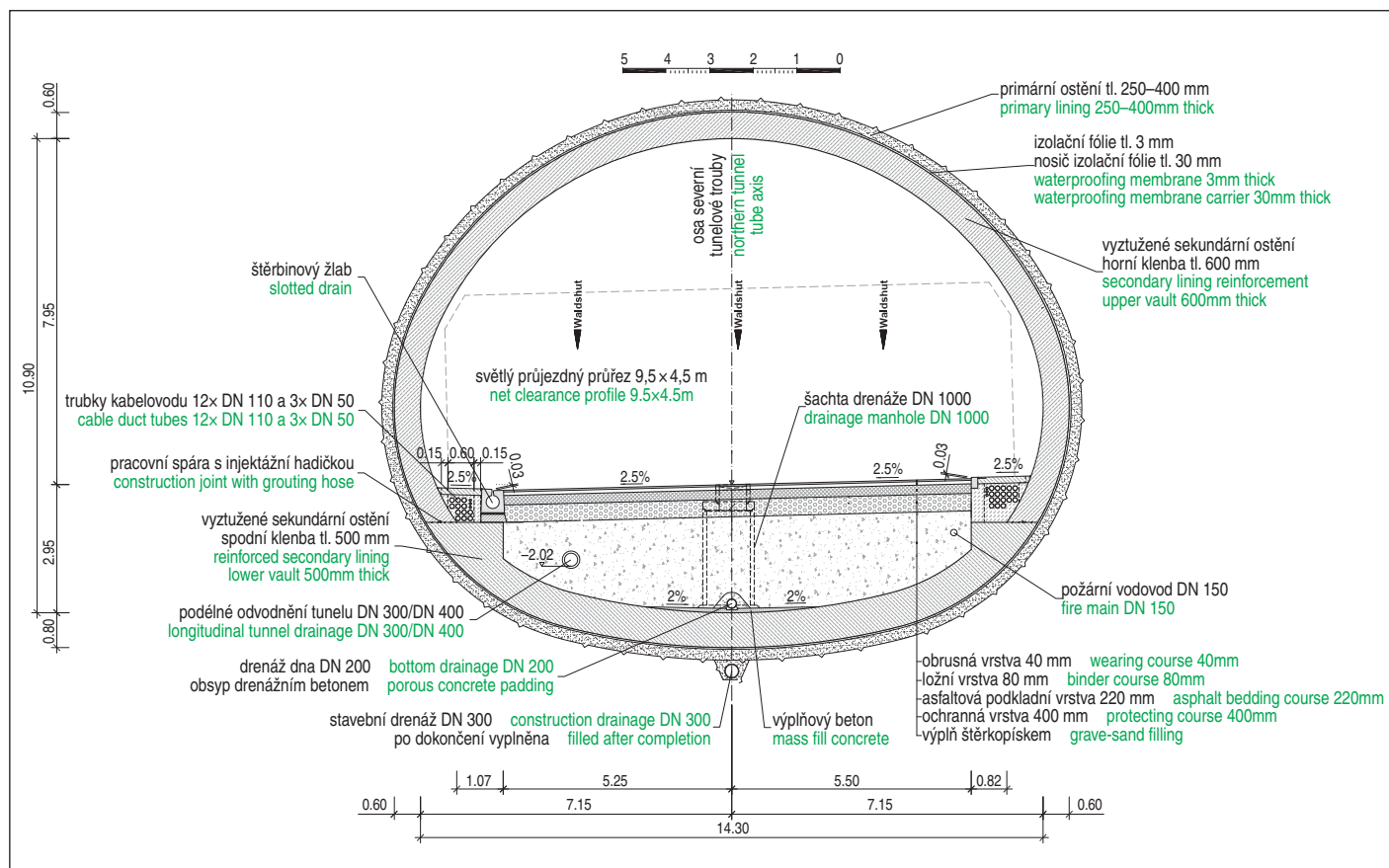
Two different waterproofing systems are used in the mined part and the cut-and-cover section. Water retaining concrete structure made of C30/37 XF2, XC4, XD1, GK16, WUB – KO, WA concrete was designed for the cut-and-cover part. An FMS 400 central waterbar with two perforated FUKO hoses type ECO 1 Ø 6mm was inserted into expansion joints between the blocks so that additional sealing by grouting was possible. A 300x2mm S235JR steel sheet with one inserted perforated FUKO hose type ECO 16mm was inserted into the middle of horizontal construction joints so that grouting was possible in the future.

PE membrane waterproofing was used in the mined section. It consisted of two layers in the vault and three layers in the bottom. The first layer, which was placed directly on shotcrete, was formed by geotextile, which had only a protective function. The second layer formed by 3mm thick KDB PE welded membrane was placed on it. All welds of this layer were tested either by pressure or vacuum tests – the pressure of 2.5bar. The bottom was in addition provided with a third protective layer, also a PE membrane. It was welded to the sub-base only partially, which means that this layer had no waterproofing function. Movement of water



Obr. 16a Vzorový příčný řez, definitivní ostění – severní trouba

Fig. 16a Typical cross-section, final lining – northern tube



Obr. 16b Vzorový příčný řez, definitivní ostění – jižní trouba

Fig. 16b Typical cross-section, final lining – southern tube



Obr. 17 Samonosná výztuž, hloubený úsek, severní tunelová trouba

Fig. 17 Self-supporting reinforcement, cut-and-cover section, northern tunnel tube

rámy při stavění a velikost výrubu. Výrub a poté i primární ostění bylo také skenováno.

Primární ostění bylo osazeno konvergenčními body pro monitorování deformací. Kvůli předpokladu výskytu krasových jevů bylo každý třetí záběr vrtáno předpolí kaloty, lávky i dna vždy pěti vrtů dlouhými 10 m. Pro vrtání těchto vrtů byl použit standardní vrtací vůz Atlas Copco Rocket Boomer E2C s nainstalovaným zařízením MWD (obr. 14) pro záznam parametrů jako přítlak korunky, spotřeba vody pro výplach, tlak vody pro výplach, rychlost vrtání a další parametry z průběhu samotného vrtání. Tato data bylo možno stáhnout z počítače stroje na USB disk a poté na jejich základě vyhodnocovat, zda byla nebo nebyla zasažena nějaká přírodní kaverna a zároveň i změny horninového prostředí.

Každá tunelová trouba musela být, podle bezpečnostních předpisů, v průběhu ražeb vybavena tzv. záchrannou kapslí. To byl odolný vzduchotěsně uzavíratelný kontejner, do kterého se v případě výskytu nedýchatelného ovzduší mohla uzavřít osádka (až 16 osob) a v něm přečkat, dokud se k ní nedostane pomoc. Tato „kapsle“ měla vlastní zdroj vzduchu v tlakových lahvích a při použití by musela být atmosféra uvnitř vždy udržována v mírném přetlaku. Doba využitelnosti vždy záleží na počtu ukrytých osob (v kontejneru umístěná tabulka). Použití se předpokládalo pouze pro případ

between individual blocks is prevented at construction/expansion joints by SAA 600/6 waterbars with two inserted grouting hoses FUKO type ECO 1 Ø 6mm. In the blocks directly linking to the cut-and-cover part, the waterbars were incorporated not only into the joint between the blocks, but two additional waterbars were incorporated directly to the block.

The construction joint between individual blocks was treated with bituminous coating. An ECO 1 Ø 6mm hose was installed into the construction joint between the bottom and the vault so that later improving of the sealing capacity was possible. Twelve hoses with the inner diameter of 20mm were installed into each waterbar for additional sealing. Grouting through the hoses was performed immediately after concreting. Square 200×200mm pieces of the membrane with a

transition piece were welded to the waterproofing PE membrane on 3×3m grid and a 3/4" flexible hose was connected to it (the northern tunnel tube 20 pieces per block, the southern tunnel tube 26 pieces per block), serving as a leakage checking system and a system for simplification of possible later grouting without interruption to traffic. The hoses protruded outwards from the lining through the formwork before casting of concrete and were subsequently cut flush with the internal surface of the final lining (to be later plugged).

Tunnel drainage

The tunnel is being constructed as a waterproof structure. For that reason only working drainage was carried out for drainage purposes. This temporary tunnel drainage was solved by central drainage DN300, which was installed outside the primary lining, under the bottom (the invert). After the completion of the final lining, the working drainage was filled with grout and sealed. Passages through the waterproofing layers were solved by a manhole hermetically closed by a stainless cover bolted to it and sealing at the level of the waterproofing membrane.

Final lining

Concrete casting operations started from the eastern portal in the northern tunnel tube, following the excavation after the



Obr. 18a Forma pro betonáž protiklenby

Fig. 18a Formwork for concreting the invert



Obr. 18b Forma pro betonáž protiklenby

Fig. 18b Formwork for concreting the invert

požáru v tunelu, při problému by bylo nutnou postiženou tunelovou troubu opustit. Kontejner byl umístěn na dvou ližinách, takže bylo velice jednoduché jej přemísťovat a stěhovat v průběhu ražeb (obr. 15).

Hydroizolace

V ražené části a v hloubeném úseku jsou použity dva rozdílné systémy hydroizolace. Hloubený úsek byl navržen jako vodonepropustná betonová konstrukce z betonu C30/37 XF2, XC4, XD1, GK16, WUB – KO, WA. Do dilatačních spár mezi bloky byl vložen středový pás – Fugenband FMS 400 se dvěma perforovanými hadičkami FUKO typ ECO 1 Ø 6 mm pro možnost pozdějšího dotěsnění injektáží. Do středu vodorovných pracovních spár mezi klenbou a dnem byl zabudován spárový plech 300×2 mm S235JR s jednou vloženou perforovanou hadičkou FUKO typ ECO 1 Ø 6 mm pro možnost pozdější injektáže.

V ražené části byla použita fóliová hydroizolace – PE. Ta se v klenbě skládala ze dvou a ve dně ze tří vrstev. První vrstvou pokládanou přímo na stříkaný beton byla geotextilie, která měla pouze ochrannou funkci, na ni byla pokládána druhá vrstva svařované fólie KDB PE tl. 3 mm, všechny sváry této vrstvy byly zkoušeny buď tlakovou, nebo vakuovou zkouškou – tlak 2,5 bar. Dno bylo opatřeno ještě třetí ochrannou vrstvou rovněž z PE fólie, jež byla dohromady svařována pouze částečně, aby tato vrstva neměla hydroizolační funkci. Pohybům vody mezi jednotlivými bloky zabráňuje v místě pracovních/dilatačních spár na fólii navařený pás fugenband SAA 600/6 s dvěma vloženými injektážními hadičkami FUKO typ ECO 1 Ø 6 mm. V blocích navazujících přímo na hloubenou část byly pásy fugenband zabudovány nejen do spáry mezi bloky, ale i další dva doplňkové byly umístěny přímo do bloku. Pracovní spára mezi jednotlivými bloky byla ošetřena bitumenovým nátěrem. Pracovní spára mezi dnem a klenbou byla osazena hadičkou ECO 1 Ø 6 mm pro možnost pozdějšího dotěsnění injektáží. Pro dotěsnění fugenbandů bylo do každého pásu osazeno 12 hadiček s vnitřním průměrem 20 mm, které byly zainjektovány ihned po betonáži. Na hydroizolační PE fólii v celé ražené části byly navařeny v rastru 3×3 m čtvercové kusy fólie 200×200 mm s přechodovým kusem a na něj napojenou 3/4" flexibilní hadicí (severní trouba 20 ks/blok, jižní trouba 26 ks/blok), která slouží jako kontrolní systém netěsností a systém pro zjednodušení případné pozdější injektáže za provozu tunelu. Hadice byly vyvedeny ven z ostění přes formu před betonáží a následně byly pouze zaříznuty do úrovně vnitřního líce definitivního ostění (později bude osazena pouze těsnící zátka).

Odvodnění tunelu

Tunel je budován jako vodonepropustná konstrukce. Pro odvodnění byla proto vybudována pouze pracovní drenáž. Toto provizorní odvodnění tunelu bylo řešeno středovou drenáží DN300, která byla zabudována vně primárního ostění pod dnem (spodní klenbou). Po zhotovení definitivního ostění byla pracovní drenáž zainjektována a utěsněna. Prostupy přes hydroizolaci byly řešeny šachtou, která byla neprodyšně uzavřena příšroubovaným nerezovým víkem a těsněním v úrovni izolace.

Definitivní ostění

Betonáž započala z východního portálu v severní tunelové rouři v návaznosti na ražbu po proražení tunelové propojky a po vyražení dna mezi propojkou a východním portálem v severní tunelové troubě (obr. 16a+16b).

Definitivní ostění bylo navrženo ze železobetonu C30/37, XF2, XC4, XD1, WA, který byl vyztužen betonářskou ocelí B500B. Pro zvýšení požární bezpečnosti byla do betonové směsi pro realizaci klenby zamíchána polypropylenová vlákna. Délka standardního



Obr. 19 Forma pro betonáž klenby s pojízdným bedněním pro betonáže v hloubeném úseku

Fig. 19 Formwork for concreting the vault, with the traveller formwork for concreting in the cut-and-cover section

breakthrough of the cross passage and after completion of the excavation of the bottom between the cross passage and the eastern portal in the northern tunnel tube (see Figures 16a and 16b).

Concrete C30/37, XF2, XC4, XD1, WA reinforced with B500B steel was designed for the final lining structure. Polypropylene fibres were added to the concrete mixture used for the vault for the purpose of increasing the fire safety. The length of 10m of a standard block of the mined part was determined by the designer, one 7.16m long so-called equalising block had to be inserted in the northern tube, whilst two equalising blocks 5.918m long each were necessary in the southern tube. The following thicknesses were designed:

Northern tunnel tube:

- blocks in the cut-and-cover sections – bottom 500mm, vault 400mm thick;
- blocks in the mined part with the exception of the block at the cross passage – bottom 500mm, vault 400mm;
- the block in the mined part at the cross passage – bottom 700mm, vault 600mm.

Southern tunnel tube:

- blocks in cut-and-cover sections – bottom 800mm, vault 600mm;
- blocks in the mined part with the exception of the block at the cross passage – bottom 800mm, vault 600mm;
- the block in the mined part at the cross passage – bottom 1000mm, vault 800mm.



Obr. 20 Schéma principu fungování tzv. tlakově neutrálních dveří

Fig. 20 Chart of the principle of functioning of the so-called neutral pressure door

bloku ražené části byla projektantem stanovena na 10 m, v severní tunelové troubě musel být vložen jeden tzv. srovnávací blok o délce 7,16 m a v jižní troubě dva, každý o délce 5,918 m. Tloušťky ostění byly následující:

Severní tunelová trouba:

- bloky v hloubených úsecích dno 500 mm, klenba 400 mm;
- bloky v ražené části kromě bloku v místě propojky dno 500 mm, klenba 400 mm;
- blok v ražené části v místě propojky dno 700 mm, klenba 600 mm.

Jižní tunelová trouba:

- bloky v hloubených úsecích dno 800 mm, klenba 600 mm;
- bloky v ražené části kromě bloku v místě propojky dno 800 mm, klenba 600 mm;
- blok v ražené části v místě propojky dno 1000 mm, klenba 800 mm.

Armování klenby bylo prováděno za pomoci armovacího vozu. Výztuž byla vázána k lehkým příhradovým rámcům a byla samonosná (obr. 17). Kromě těchto rámců se skládala z jednoosých svařovaných sítí a samostatných prutů (zesilující příložky).

Pro betonáž protiklenby (dna) a banketů byla použita forma s tzv. kráječícím posunem, která byla použita pro dvoupruhový profil a poté přestavěna na třípruhový profil (obr. 18a+18b). Standardní rychlost betonáže byla jeden blok denně. Horní klenba byla betonována do pojízdné formy (systém firmy Kern). Odbedňovací pevnost byla v raženém úseku 3 MPa. Rychlost betonáže klenby byla stejná jako u dna, jeden blok denně. Přímou na formu horní klenby byly napojeny tři tzv. ošetřovací vozy. Ty udržovaly stálou teplotu a vlhkost u každého bloku po předepsané tři dny po betonáži. Byly osazeny čidly a naměřené hodnoty byly zaznamenávány do připojeného počítače.

Betonáž hloubených úseků byla prováděna do stejných forem jako v ražené části. Horní klenba byla však navíc opatřena pojízdňím vnějším bedněním (obr. 19), které se připojovalo k formě pomocí kotev, které procházely skrz klenbu. Do dilatačních spár v horní klenbě byly umístěny kromě pásů fugenband (viz kapitola Hydroizolace) ještě elementy z minerální vaty. Dilatační spáry ve dně byly osazeny elementy Trigosys® od výrobce Trigoform GmbH, které držely středový fugenband a zároveň fungovaly jako ztracené bednění. V hloubeném úseku byla každá spára mezi jednotlivými bloky navržena jako dilatační, v raženém úseku pouze spáry mezi bloky hlavního tunelu a bloky propojky.

Tunelové propojky, niky

V každé tunelové troubě se nalézají 3×2 niky, jež leží vždy naproti sobě v jednom bloku. Niky umístěné na jedné straně budou osazeny telefonem pro nouzové volání a na druhé straně požárním hydrantem. U tunelové propojky jsou tyto niky realizovány v bloku přímo sousedícím s propojkou.

Tunelová propojka bude osazena z obou stran požárně odolnými dveřmi. Z jednoho směru budou instalovány klasické protipožární dveře. Pro porovnání výhod a nevýhod používání budou na druhou stranu instalovány tzv. tlakově neutrální dveře firmy ELKUCH EISENRING AG (obr. 20). Tento typ dveří je primárně určen pro únikové stoly a tunelové propojky a má tu výhodu, že člověk otevírající tyto dveře nepřetlačuje tlak vzduchu působící na celou plochu dveří.

ZÁVĚR

Pro dodržení harmonogramu výstavby bylo nutno minimalizovat čas výstavby za současného dodržení velmi přísných kvalitativních požadavků.

Reinforcement of the concrete vault was installed using a reinforcement installation travelling scaffold. The self-supporting reinforcement was tied to lattice girders (see Fig. 17). With the exception of the girders, it consisted of uniaxial welded mesh and independent bars (reinforcing strap pieces).

The so-called “walking formwork” was used for concreting the invert (bottom) and banquetts, which was used for the double-lane profile and was subsequently reconstructed for the triple-lane profile (see Figures 18a and 18b). The standard concreting rate of one block per day was maintained. The upper vault concrete was cast behind Kern company's system travelling formwork). Concrete striking strength in the mined section was 3MPa. The upper vault concreting rate was identical with that maintained at the bottom, i.e. one block per day. Three so-called concrete treatment carriages were connected directly to the upper vault formwork. They maintained constant temperature and humidity at each block for prescribed three days after concreting. There were sensors installed on them and the measured values were recorded in an attached computer.

Casting of concrete in the cut-and-cover sections was carried out using the same formwork sets as those used in the mined part. An external travelling formwork (see Fig. 19) was in addition used for concreting the upper vault. It was connected to the formwork by means of anchors passing through the vault. Elements made of mineral wool were placed into expansion joints in the upper vault, in addition to the waterbars (see chapter Waterproofing). Trigosys® elements produced by Trigoform GmbH supporting the central waterbar and at the same time functioning as sacrificial formwork were placed to the expansion joints in the bottom. In the cut-and-cover section, each joint between individual blocks was designed as an expansion joint, whilst only the joints between individual blocks of the main tunnel and blocks of the cross passage were designed in this way.

Tunnel cross passages; niches

In each tunnel tube there are 3×2 niches located across each other in one block. Emergency call stations will be installed in niches located on one side, whilst fire hydrants will be in niches on the other side. At the cross passage, the niches are located in the block directly neighbouring with the cross passage.

The cross passage will have fire resistant doors at both ends. Classical fire-check doors will be installed from one direction. The so-called pressure neutral doors produced by ELKUCH EISENRING AG (see Fig. 20) will be installed on the other side for the purpose of comparing the advantage and disadvantage of the products. This door type is primarily designed for escape galleries and cross passages. The advantage is that a person opening the door does not need to overcome the air pressure acting on the whole surface of the door from the other side.

CONCLUSION

With respect to the necessity for following the time schedule, it was necessary to minimise the construction time with concurrent adhering to very strict qualitative requirements.

The fundamental measure for acceleration of processes during the top heading excavation lay in the optimisation of the excavated cross-sectional area by means of shifting the level of the top heading bottom in the detailed design by ca 1m higher. This measure allowed for the still smooth use of all machines, but it significantly reduced the time demands of individual partial work operations of the top heading excavation. This change had no significant influence on the time-related processes in the bench excavation. In the northern

Základním opatřením pro urychlení postupů při ražbě kaloty byla optimalizace plochy výrubu a to tak, že v prováděcí dokumentaci pro jižní tunelovou troubu byla posunuta úroveň dna kaloty o cca 1 m výše. Toto opatření umožnilo ještě bezproblémové používání všech strojů, ale výrazně zmenšilo časovou náročnost jednotlivých dílčích pracovních operací ražby kaloty. Tato změna neměla výrazný vliv na časové postupy při dobírce opěr. V severní tunelové troubě byla naopak úroveň dna kaloty o 1 m snížena.

Dalším zásadním opatřením bylo využití tunelové propojky pro dopravu materiálu a rubaniny do a ze severní tunelové trouby. Profil propojky musel být upraven tak, aby umožnil průjezd všech strojů. Jakmile byly obě tunelové trouby doraženy za propojku a vyražena propojka, byla veškerá doprava odkloněna z první poloviny severní trouby do jižní a na tomto úseku byly okamžitě zahájeny práce na hydroizolacích a definitivním dně tunelu. Díky tomu probíhala betonáž dna tunelu bez časového tlaku, zároveň byl vytvořen dostatečný odstup dna před zahájením betonáže definitivní klenby tunelu nutný pro zajištění dostatečné pevnosti betonu dna pro pojezd formy a zároveň využití dna pro logistiku betonáží.

Časově velmi kritickou operací bylo dokončení západního portálu před prorážkou severní tunelové trouby. Z výše popsaných důvodů byla nutná změna realizační dokumentace západního zářezu, zároveň bylo nutné zahájit práce v klimaticky extrémně nevhodných podmínkách. Kvůli neočekávaným geologickým podmínkám zastiženým při realizaci zářezu došlo k dalším změnám projektu. Postup prací byl za souhlasu investora upraven, severní část byla až na úroveň dna kaloty dokončena prioritně, jižní část již rozpracovaného portálu byla přisypána odtěženým materiálem ze severní části. Následně byly zřízeny nové přístupy a severní část byla dokončena s časovým odstupem stejně tak jako oblast lávky, resp. dna obou trub.

Včasně dokončení ražeb umožnilo provádění naprosté většiny prací na definitivním ostění od jara do podzimu, proto odpadly veškeré prostoje způsobené nevhodnými klimatickými podmínkami a nebylo nutné realizovat opatření, jež tyto nevhodné podmínky eliminují. Dalším faktorem zásadně ovlivňujícím postupy betonážních prací byla možnost odbednění formy klenby a její přesun již po dosažení pevnosti betonu klenby 3 MPa. Za těchto okolností se dařilo betonovat standardní tunelové bloky v jednodenním taktu a bez problému dodržet plánovaný harmonogram prací.

Nesporný přínos mělo i vyžití mobilní betonárky přímo na stavbě. Toto řešení minimalizuje prostoje mezi jednotlivými pracovními operacemi a při dobré volbě dodavatele umožňuje velkou časovou flexibilitu jak v průběhu ražeb, tak i betonáže definitivního ostění. Eliminace čekacích dob na dodávku betonu je také významným faktorem ovlivňujícím výslednou kvalitu definitivního ostění.

*Ing. JAN KUBEK, jkubek@subterra.cz,
Ing. PAVEL FARSKÝ, pfarsky@subterra.cz,
Subterra, a.s.*

Recenzoval Reviewed: Ing. Vladimír Prajzler

Zdroj fotografií
ARGE Herrschaftsbucktunnel
Subterra a.s.

tunnel tube, the top heading bottom was conversely lowered by 1m.

Another fundamental measure lay in the use of the cross passage for transport of materials and muck to and from the northern tunnel tube. The cross passage cross-section had to be modified to allow the passage of all mechanisms. Immediately after the completion of the excavation of the tunnel tubes behind the cross passage and excavation of the cross passage, all transportation was diverted from the first half of the northern tunnel tube to the southern tube and the work on the waterproofing and final tunnel bottom immediately commenced. Owing to this fact, concreting of the tunnel bottom proceeded without any time pressure. At the same time, an interval was created for hardening of the bottom concrete necessary for development of the strength sufficient for the movement of the formwork on it when concreting of the upper vault was expected to start, and for the use of the bottom for concrete casting logistics.

The completion of the western portal before the northern tunnel tube breakthrough was an operation critical in terms of time. For the above-mentioned reasons it was necessary to change the detailed design for the western cutting and, at the same time, to start to work in climatically extremely unsuitable conditions. Other changes in the design occurred because of unexpected geological conditions encountered during the excavation of the cutting. The work procedure was modified with the consent of the project owner – the northern part was finished up to the top heading bottom as a priority. The southern part of the already commenced portal excavation was backfilled with the material excavated from the northern part. New approach roads were subsequently created and the northern part was finished with a time lag, identically with the area of the bench and bottom, respectively, of both tubes.

The timely completion of the tunnel excavation allowed for the majority of the work on the final lining to continue from spring to autumn. For that reason all downtimes caused by unsuitable climatic conditions could be eliminated and it was not necessary to implement measures eliminating the unsuitable conditions. Another factor significantly influencing the concrete casting processes lay in the possibility of striking the vault formwork and shifting it ahead already after reaching the vault concrete strength of 3MPa. Under those circumstances, standard tunnel blocks were concreted in a one-day cycle and the planned works schedule was adhered to without problems.

Even the use of the mobile concrete batching plant directly on site had an undeniable benefit. This solution minimises downtimes between individual work operations and, when a good contractor is chosen, allows for significant flexibility of time during the excavation and concreting of the final lining. Elimination of times of waiting for concrete supplies is another important factor influencing the resultant quality of the final lining.

*Ing. JAN KUBEK, jkubek@subterra.cz,
Ing. PAVEL FARSKÝ, pfarsky@subterra.cz,
Subterra, a.s.*

Source of photographs
ARGE Herrschaftsbucktunnel
Subterra a.s.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Projektová dokumentace – realizační
- [2] RAUTER, G., GEIER, M. A 98.4 AD Hochrhein – AS Minseln, Herrschaftsbucktunnel Rohbau. BeMo Tunelling GmbH

PRVNÍ STATICKÉ VÝPOČTY PRO NOVOU RAKOUSKOU TUNELOVACÍ METODU SE ZAMĚŘENÍM NA POLYGONÁLNÍ METODU

FIRST STRUCTURAL ANALYSES FOR THE NEW AUSTRIAN TUNNELLING METHOD FOCUSING ON POLYGONAL METHOD

JAROMÍR ZLÁMAL

ABSTRAKT

Nová rakouská tunelovací metoda (NRTM) se v České republice začala ve větším měřítku používat v roce 1990–1995. Na zavádění NRTM do praxe se plně zúčastnila odborná veřejnost, vysokoškolské ústavy, projekční ústavy a prováděcí firmy. Bylo vypracováno mnoho studií, teoretických prací, ale i podkladů pro prováděcí projekty. Při aplikaci NRTM, kdy Metoda konečných prvků (MKP) nebyla běžně dostupná, se statické výpočty prováděly obecnou polygonální metodou (OPM). Protože vstupní data pro nárůst pevnosti a modulu deformace střihaného betonu byla známá, tato metoda umožnila sledovat mezní únosnost a deformace ostění den po dni. V současnosti je tato metoda používána pro menší tunelová ostění pro zjištění mezní únosnosti a mezní deformace konstrukce.

ABSTRACT

The use of the New Austrian Tunnelling Method (NATM) on a larger scale started in the Czech Republic in 1990–1995. Introducing the NATM into practice was fully participated in by the professional public, university institutes, designing institutions and the implementing firms. Many studies, theoretical work pieces, but also background papers for implementation designs were carried out. Structural analyses for the application of the NATM at the time when the Final Element Method (FEM) was not commonly available were conducted using the General Polygonal Method (GPM). Because the input data for the increase in strength and modulus of deformation of shotcrete was known, this method allowed for day-by-day monitoring the ultimate bearing capacity. This method is currently applied to smaller tunnel linings for the determination of ultimate bearing capacity and ultimate deformation of the structure.

1. ÚVOD

V ČR se Nová rakouská tunelovací metoda (NRTM) zaváděla teprve po roce 1990, ale první studie byly prováděny již od roku 1979 [1] [2]. Odborníci hledali takové metody statických výpočtů, které by nejlépe vystihovaly skutečnou napjatost a deformaci tunelových ostění. Metoda konečných prvků (MKP) při zavádění NRTM do praxe nebyla ještě běžně používána, ale s výpočetními programy určenými pro výpočet ostění tunelu polygonální metodou byla odborná obec dobře seznámena.

Cílem statického výpočtu je stanovit únosnost konstrukce tunelového ostění při spolupůsobení systému ostění/horninový masiv. Napjatost a deformace systému ostění/horninový masiv jsou známy až po zahájení výstavby a důkladném monitoringu. Projektant řeší dvě základní protikladné podmínky. Stavba musí být hospodárná a současně spolehlivá. Během zatěžování prochází konstrukce spojitě stavy napjatosti a přetvoření, které lze vyjádřit matematicky na základě znalostí stavební mechaniky. Spolehlivost stavební konstrukce je definována třemi subsystémy:

- nosná konstrukce tunelu;
- zatížení působící na konstrukci;
- prostředí obklopující konstrukci.

2. VÝZKUMNÉ ÚKOLY A SMĚRNICE PRO PROJEKTOVÁNÍ, VÝPOČET A VÝSTAVBU NRTM

Již v roce 1988 vydává O. Tesař na objednávku Metrostavu „Technické podmínky 15 – Klasifikace skalních a poloskalních hornin pro podzemní stavby“ [3] a v téže roce stejný autor vydává v rámci Státního výzkumného úkolu kvalitní studii s názvem „Zjištění závislosti mezi různými klasifikacemi pro tunelové stavby, geotechnickými hodnotami a klasifikací QTS“. Tehdy státní podnik Metrostav vydává v roce 1990 velmi hodnotný dokument „Průzkumná studie, Aplikace NATM v současných podmínkách s. p. Metrostav“. A. Zapletal

1. INTRODUCTION

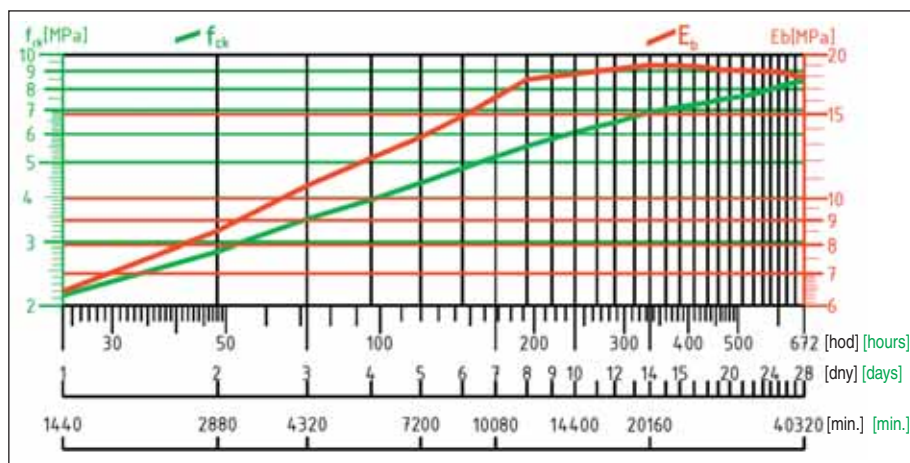
In the Czech Republic, introducing the New Austrian Tunnelling Method (NATM) commenced as late as after 1990, but initial studies were conducted as early as 1979 [1] [2]. Experts searched for such structural analysing methods which would give the best picture of the actual stress and deformation of tunnel linings. The Finite Element Method (FEM) had not yet been commonly used in the process of introducing the NATM into practice, but the professional public was well acquainted with computation software available for computation of tunnel linings using the polygonal method.

The objective of the structural analysis is to determine the bearing capacity of a tunnel lining structure when the lining/ground mass interaction system exists. The stress and deformations of the lining/ground mass system are known only after the commencement of the construction operations and thorough monitoring. The designer solves two fundamental contradictory conditions. The construction has to be economic and at the same time reliable. During the process of applying loads, the structure continually passes through states of stress and deformation which can be expressed mathematically on the basis of the knowledge of structural mechanics. Reliability of a civil engineering structure is defined by the following three sub-systems:

- tunnel structural frame;
- loads acting on the structure;
- environment surrounding the structure.

2. RESEARCH TASKS AND DIRECTIVES FOR DESIGNING, COMPUTATION AND CONSTRUCTION USING THE NATM

As early as 1988, O. Tesař published, to Metrostav's order, the "Technical specifications 15 – Classification of hard rock and



Obr. 1 Pevnost f_{ck} a modul deformace E_b stříkaného betonu podle Směrnice [4]

Fig. 1 Strength f_{ck} and modulus of deformation E_b of shotcrete according to the Directive [4]

ve stejném roce vydává práci „Statika NATM: Kruhová, vrstevnatá, čistě tlačená ostění“. Do diskuse se v roce 1990 zapojuje J. Mencl Štátnou výzkumnou úlohou „Navrhovanie podzemných stavieb s využitím samonosnosti horniny“. METROPROJEKT, a.s., v roce 1991, na objednávku Metrostavu a.s., zpracovává „Podklad pro prováděcí projekt, Betonáž monolitického ostění“ [4]. Dokumentace obsahuje prostorové požadavky na jednokolejný tunel metra, únosnost ostění, vodotěsnost ostění, návrh prostupů v ostění, technologii výstavby a návrh na technické a strojní vybavení pro výstavbu traťového tunelu metra. Velmi podstatně do diskuse v roce 1991/1992 přispívá trojice autorů A. Zapletal, M. Bucek a J. Barták dvěma hodnotnými publikacemi „Směrnice pro navrhování ostění budovaných NATM“ a v téže roce autoři zpracovávají „Komentář ke směrnici pro navrhování ostění budovaných NATM“ [5] [6]. Směrnice udává jako první pevnost v tlaku stříkaného betonu f_{ck} (R_p), pevnost v tahu f_{ctk} (R_{pt}) a modul pružnosti betonu E_b pro každý den v rozmezí 1–28 dní od zahájení tuhnutí betonu (obr. 1).

Tato směrnice zavádí nový termín – 1. a 2. Menclovu mez. Výpočty podle této metody se postupně aplikují v praxi. V roce 1992 vydává O. Tesař na objednávku Metrostavu publikaci „Směrnice – Inženýrskogeologický průzkum pro NRTM“. Pro potřeby staveb pak v roce 1994 vydává Metrostav a.s., divize 5 příručku „Nová rakouská tunelovací metoda“ a v samostatné publikaci k příručce pak VIII příloh. Na zavádění NRTM do praxe se podílela firma Metrostav a.s., ČVUT v Praze, METROPROJEKT, a.s. a mnoho dalších pracovišť a odborníků.

3. PEVNOSTI A MODULY DEFORMACE STŘÍKANÝCH BETONŮ

Nárůstu pevnosti a modulu deformace stříkaných betonů byla hned od počátku věnována velká pozornost. Jako první uveřejňují v roce 1991/1992 tyto hodnoty Zapletal, Bucek, Barták [5] (obr. 1), a pak následuje mnoho měření prováděných v laboratořích pro konkrétní stavby (obr. 2).

Jak se postupně zlepšovala receptura a kvalita složek tvořících stříkané betony, tak se zlepšovaly i naměřené hodnoty pevnosti a modulu deformace stříkaných betonů. Na obr. 2 a 3 jsou uvedena dlouhodobě sbíraná data pevnosti f_{ck} a modulu deformace E_b stříkaných betonů získávaná od roku 1996 až do současnosti.

4. POPIS POLYGONÁLNÍ METODY PRO VÝPOČET OSTĚNÍ TUNELŮ

Polygonální metoda používá většinou Obecnou deformační metodu (ODM), která počítá se změnou délky prutu způsobenou normálovými silami, tvar konstrukce se idealizuje, je tvořený

weak rock for underground construction” [3] and, during the same year, the same author published, within the framework of a State research task, a good quality study with the title “Ensuring dependence among various classification systems for tunnel construction, geotechnical values and the QTS classification system”. In 1990, the at that time existing state-owned enterprise Metrostav published a very valuable document „Exploratory study, The NATM application in current conditions of state-owned enterprise Metrostav”. In the same year, A. Zapletal published the work titled „The NATM statics: Circular, layered, only compression-loaded linings“. In 1990, J. Mencl engaged himself in the discussion through the State research task “Underground construction design using

the self-supporting property of ground” In 1991, “The basis for detailed design titled Carrying out cast-in-place linings” was carried out by METROPROJEKT, a.s. to Metrostav’s order [4]. The documents comprise spatial requirements for a single-track metro tunnel, bearing capacity of the lining, waterproofing capacity of the lining, proposals for openings in the lining, tunnel construction technique, and a proposal for technical and mechanical equipment for construction of a metro running tunnel. In 1991/1992, three authors, Zapletal, M. Bucek and J. Barták, contributed to the discussion by two valuable publications: „The directive for designing linings constructed using the NATM” and, in the same year, the three authors carried out „Comments on the directive for designing linings constructed using the NATM” [5] [6]. The directive quotes the compression strength of shotcrete f_{ck} (R_p) as the first one, the tensile strength of shotcrete f_{ctk} (R_{pt}) and the modulus of elasticity of concrete E_b for each day within the range from 1 to 28 days from the beginning of concrete setting (see Fig. 1).

This directive introduced a new term – the first and second Mencl limits. Computations using this method are gradually applied to the practice. In 1992, O. Tesař published, to Metrostav’s order, the “Directive – Engineering geological survey for the NATM”. In 1994, Division 5 of Metrostav joint stock company published a manual “The New Austrian Tunnelling Method” for the needs of construction projects, with VIII annexes contained in a separate publication to the manual. The company of Metrostav a.s., the Czech Technical University in Prague, the designing office of METROPROJEKT, a.s. and many other workplaces and professionals participated in the process of introducing the NATM into practice.

3. VALUES OF SPRAYED CONCRETE STRENGTHS AND DEFORMATION MODULES

The development of the strength and modulus of deformation of sprayed concrete was paid great attention immediately after the beginning of the NATM application. In 1991/1992, Zapletal, Bucek and Barták were the first to publish those values [5] (see Fig. 1). Lots of measurements conducted in laboratories for particular projects followed (see Fig. 2).

The measured values of strength and modulus of deformation of sprayed concrete improved along with the gradually improving formulae and quality of sprayed concrete components. The data on the strength f_{ck} and the modulus of deformation E_b of sprayed concrete gathered in the long term, from 1996 to the present, is presented in Figures 2 and 3.

střednicemi prutů, kterým se přisuzují geometrické, průřezové charakteristiky a vlastnosti materiálu. Styk prutů může být monolitický (rámový), nebo kloubový. Každý volný (nepodepřený) styčník má tři složky přemístění. Za neznámé jsou voleny deformace, počet neznámých je definován za pomoci stupně přetvárné neurčitosti n_p .

Při řešení jsou používány silové a momentové podmínky rovnováhy. Je řešena soustava lineárních algebraických rovnic ve tvaru

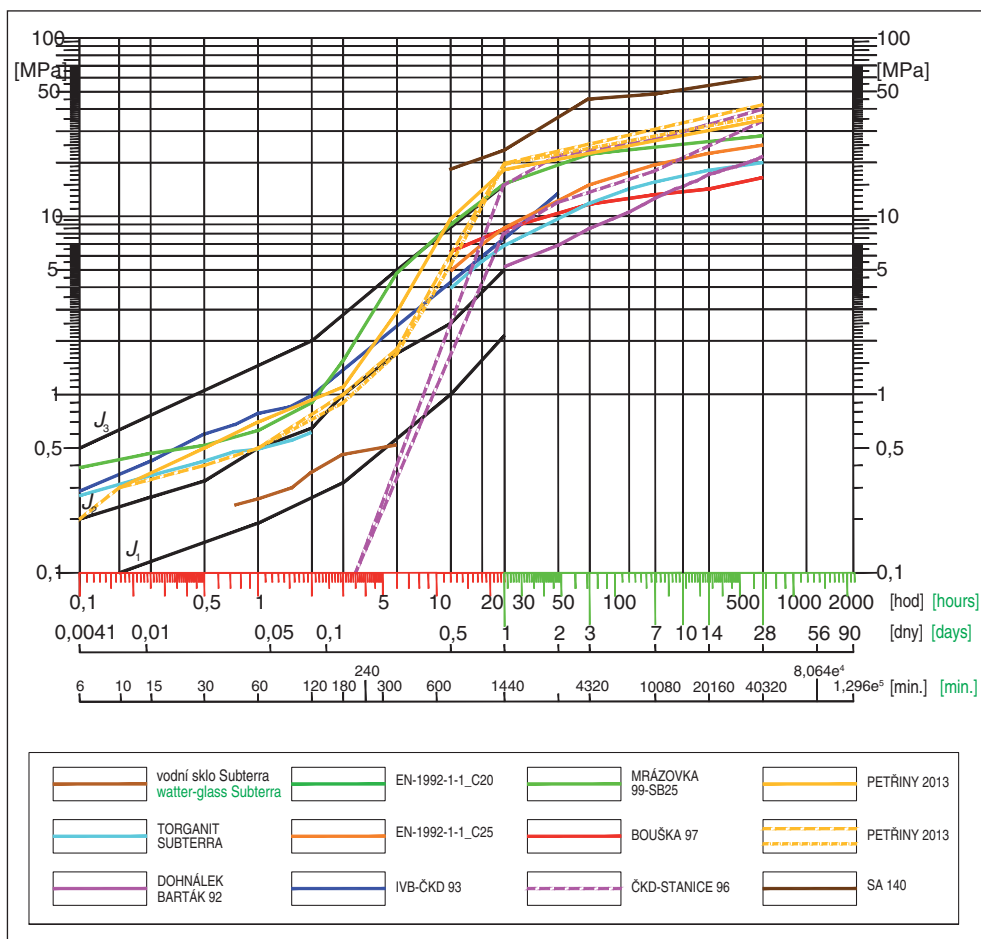
$$K \times r = F, \quad (1)$$

kde K je matice tuhosti rozměru $(n_p; n_p)$, r je vektor parametrů deformace rozměru $(n_p; 1)$, F je vektor pravých stran (zatěžovací vektor) rozměru $(n_p; 1)$

$$F = S - \bar{R}, \quad (2)$$

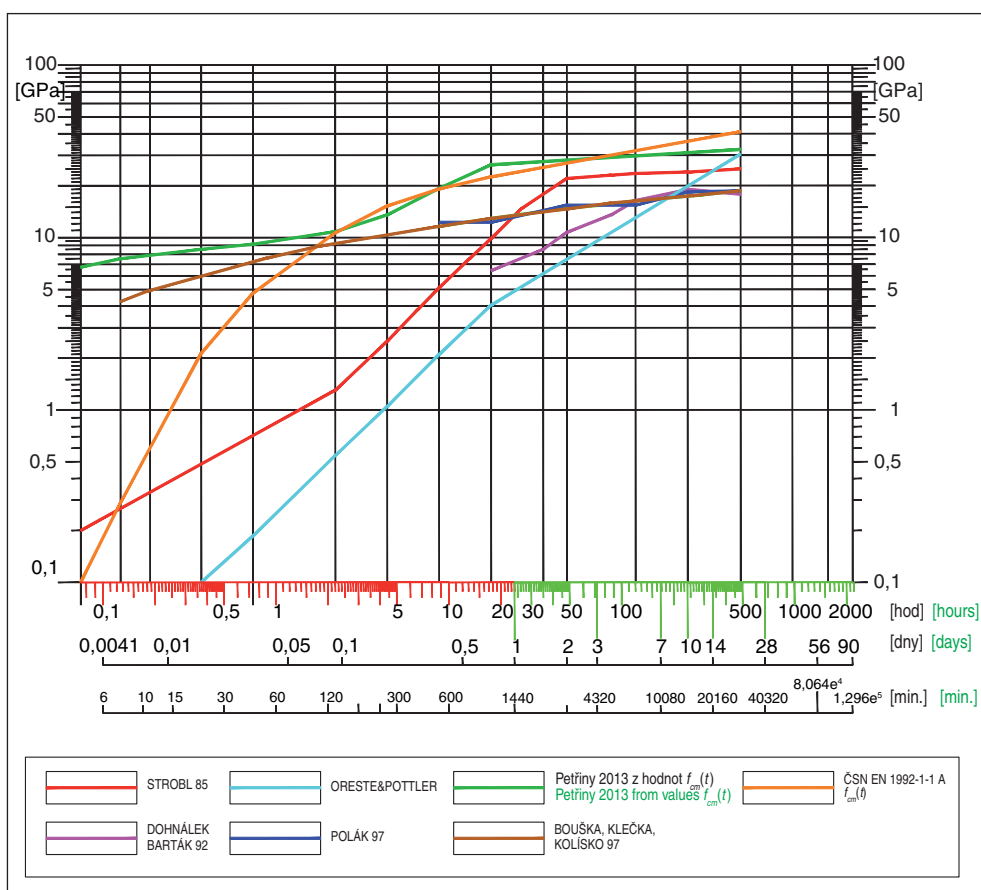
kde S je vektor uzlových zatížení rozměru $(n_p; 1)$, $\bar{R}$ je vektor primárních koncových účinků rozměru $(n_p; 1)$. Tato výpočetní metoda je rychlá a univerzální. Je schopna postihnout libovolný tvar konstrukce a umožňuje snadno měnit vstupní parametry výpočtu (zatížení, geotechnické parametry horninového prostředí, styk prutů, materiálové vlastnosti prutů). Výpočet však informuje pouze o deformacích a vnitřních silách v ostění a neříká nic o stavu napjatosti horninového masivu jako např. MKP.

Výpočetní programy určené pro výpočet ostění tunelu polygonální metodou, např. PROS3 vyvinutý v METROPROJEKTU Praha a.s. [7], nebo SCIA Engineer řešící interakci s podloží s nelineárními podporami typu podloží prutové konstrukce, nahrazují přesný tvar ostění tunelu polygonem, horninový masiv je modelován soustavou kyvných Winklerových pružin připojených k ostění ve vrcholech polygonu. Působení horninového masivu na ostění je modelováno vnějším aktivním zatížením působícím ve vrcholech polygonu. Výpočet probíhá v iteračních cyklech, v prvním iteračním cyklu jsou všechny Winklerovské pružiny modelující horninu ve funkci. Po prvním iteračním cyklu jsou tažené pružiny vyloučeny a zároveň všechny tláčené pružiny ve funkci. Tento výpočetní model odpovídá skutečnému působení geotechnické konstrukce, styčná plocha mezi konstrukcí a horninou nemůže přenášet tah,



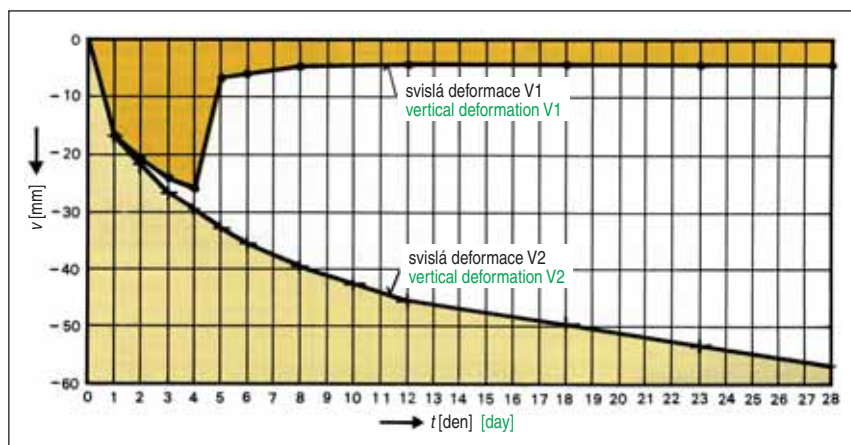
Obr. 2 Pevnosti stříkaných betonů

Fig. 2 Strengths of shotcrete mixtures



Obr. 3 Modul deformace stříkaných betonů

Fig. 3 Modulus of deformation of shotcrete mixtures



Obr. 4 Praha – jednokolejný tunel metra IVB 05 – technologická třída IIb, deformace klenby podle 1. a 2. Mencilovy meze

Fig. 4 Prague, metro IVB 05 single-track tunnel – excavation support class IIb, deformation of vault according to the first and second Mencil limits

dochází k odtržení horniny od konstrukce. Winklerovské pružiny simulující horninu se do výpočtu zavádějí jednotkovou plochou a jednotkovou délkou a jejich tuhost se zadává hodnotou modulu pružnosti E odpovídající geotechnickému prostředí. Výpočet velikosti modulu reakce podloží $\bar{k}_i$ pružných Winklerovských opěr lze zapsat ve tvaru

$$\bar{k}_i = k^{(\sigma)} \frac{l_i + l_{i+1}}{2} b, \quad (3)$$

kde $k^{(\sigma)}$ modul reakce podloží závisí nejen na geotechnických parametrech horniny, ale rovněž na tvaru konstrukce a stanovuje se obvykle podle B. G. Galerkina

$$k^{(\sigma)} = \frac{E}{R(1-\nu)}, \quad (4)$$

dále l_i je délka strany mnohoúhelníka a b je šířka prstence posuzovaného ostění, která je obvykle 1 m, E je modul deformace horniny, R je poloměr kružnice nahrazující výrub a ν je Poissonova konstanta. Deformace a pootočení i -tého uzlu jsou označeny U_i , V_i , θ_i a vnitřní síly i -tého uzlu jsou označeny X_i , Y_i , M_i a pro vnitřní výpočetní parametry vnější zatížení $\underline{X}_i$, $\underline{Y}_i$ popisuje sloupcová matice $\{P_i\}$ a sloupcová matice $\{\underline{P}_i\}$ pro vnější zatížení, kde

$$\{P_i\} = \begin{Bmatrix} U_i \\ V_i \\ \Theta_i \\ X_i \\ Y_i \\ M_i \end{Bmatrix}; \{\underline{P}_i\} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \underline{X}_i \\ \underline{Y}_i \\ 0 \end{Bmatrix}. \quad (5)$$

Zavedení reakce opěr jako vnitřní síly pro i -tý uzel a započítání deformací pružných opor vede ke změně modulu reakce podloží $[k_i]$ ovlivňujícího výpočetní parametry. V obecném případě může být zatížení přiloženo k libovolnému uzlu, (uzly mají zvláštní číslování, které označujeme j). Potom maticový zápis rovnice pro výpočetní parametry pro uzel n při známých okrajových podmínkách má následující tvar

$$\{P_n\} = \prod_{i=n+1}^1 [K_1] \{P_o\} + \sum_{j=1}^n \prod_{i=n+1}^{j+1} [K_i] \{\underline{P}_i\}, \quad (6)$$

kde $\{P_o\}$ je sloupcová matice počátečních výpočetních parametrů.

4. DESCRIPTION OF THE POLYGONAL METHOD FOR COMPUTATION OF TUNNEL LININGS

The Polygonal Method mostly uses the General Deformation Method (GDM), which counts with changes in the beam length caused by normal forces whilst the shape of the structure is idealised. It is formed by centre lines of beams, which are assigned geometrical cross-sectional characteristics and properties of materials. Joints of the beams can be monolithic (frame-type) or knuckle-type. Each free (unsupported) joint has three displacement components. Deformations are chosen as unknowns. The number of unknowns is defined using the degree of deformation uncertainty n_p .

Force and moment equilibrium conditions are applied to the solution. A system of linear algebraic equations is solved in the following form:

$$K \times r = F, \quad (1)$$

where K is for a matrix of toughness with the dimension $(n_p; n_p)$, r is for the vector of parameters of deformation with the dimension $(n_p; 1)$ and F is for the vector of right-hand sides (loading vector) with the dimension $(n_p; 1)$

$$F = S - \bar{R}, \quad (2)$$

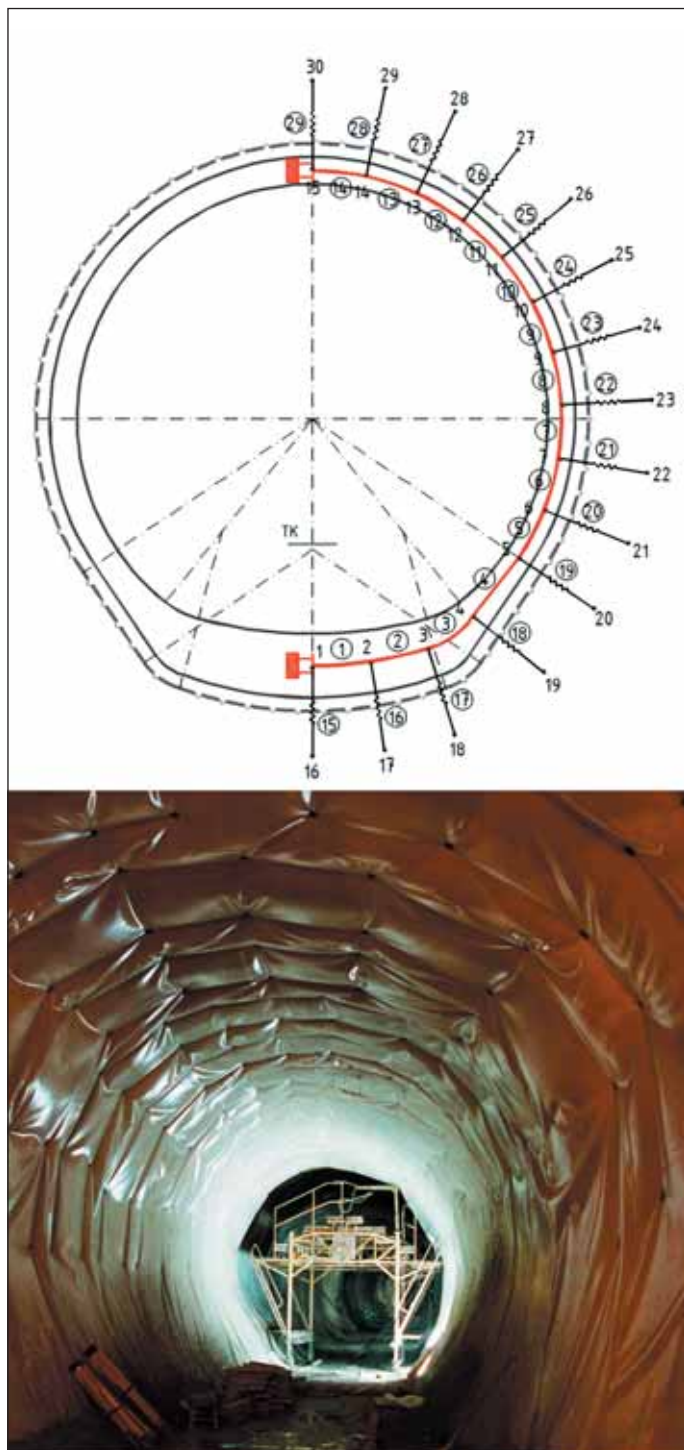
where S is for the vector of nodal loads with the dimension $(n_p; 1)$, $\bar{R}$ is for the vector of primary terminal effect with the dimension $(n_p; 1)$. This computation method is quick and universal. It is able to express any arbitrary shape of the structure and allows for easy changing of input parameters of the computation (loads, geotechnical parameters of the ground environment, beam joints, material properties of beams). Nevertheless, it informs only about deformations and internal forces in the lining and says nothing about the state of stress in the ground mass as, for example, the FEM.

Computation software tools designed for computation of tunnel linings using the polygonal method, for example the PROS3 developed in METROPROJEKT Praha a. s. [7] or the SCIA Engineer solving the interaction with the basement with nonlinear supports of the basement of a beam structure type, substitute the tunnel polygon for the exact shape, the ground mass is modelled by a system of Winkler swinging springs connected to the lining at polygon vertices. The ground mass action on the lining is modelled by active external loads acting at the polygon vertices. The computation proceeds in interaction cycles. In the first cycle, all Winkler springs modelling the ground are in function. After the first cycle, all tensioned springs are excluded and the computation process is continued until all tensioned springs are excluded and, at the same time, all compressed springs are in function. This computation model corresponds to the actual action of the geotechnical structure; the interfacial surface between the structure and ground mass cannot transfer tension, the ground mass is torn from the structure. Winkler springs simulating ground mass are introduced into the computation by a unit area and a unit length; their toughness is introduced by the value of the modulus of elasticity E corresponding to the geotechnical environment. The computation of the magnitude of the modulus of sub-grade reaction $\bar{k}_i$ of the flexible Winkler supports can be written down in the form

$$\bar{k}_i = k^{(\sigma)} \frac{l_i + l_{i+1}}{2} b, \quad (3)$$

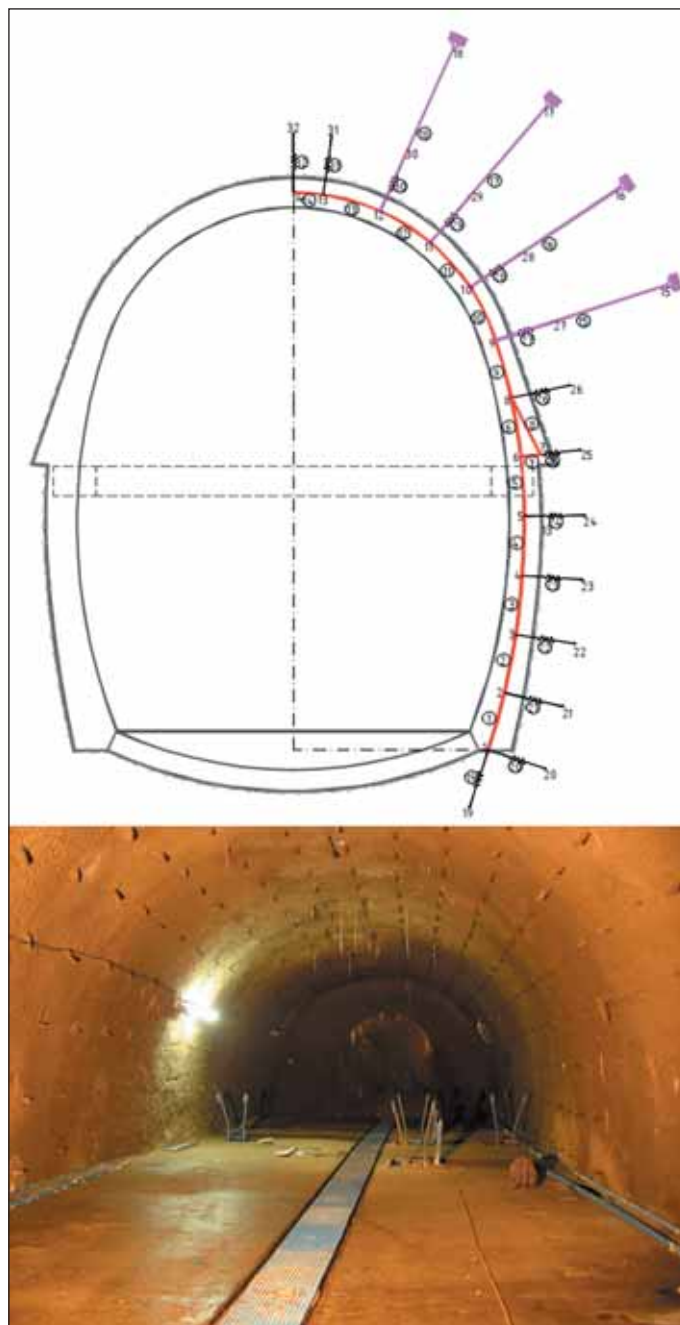
5. VÝPOČET VNITŘNÍCH SIL POLYGONÁLNÍ METODOU – PŘÍKLADY VÝPOČTŮ

V praxi se řeší soustava rovnic v maticové formě o n_p neznámých. Konstrukce je modelována pruty, uzly a Winklerovskými pružinami. Horninové tlaky i geotechnické parametry okolního prostředí se u liniových staveb po délce mění. V parametrické studii je zeminovému prostředí přiřazováno několik modulů reakce podloží k_{vyp} , konstrukce je zatížena několika různými poměry svislého a vodorovného zatížení p/q a vyhodnocuje se pro konstrukci nejnepríznivější kombinace tuhosti pružin a poměru zatížení. Pro výpočet vnitřních sil v konstrukci se používají statická schémata uvedená na obr. 5–10.



Obr. 5 Praha, jednokolejný tunel metra 29,25 m², prvků matice 333, počet neznámých 41

Fig. 5 Prague, single-track metro tunnel 29.25m², 333 matrix elements, 41 unknowns



Obr. 6 Brno-Cejl, kolektor – komora křížení 73,5 m², prvků matice 216, počet neznámých 28

Fig. 6 Brno-Cejl, utility tunnel – intersection chamber 73.5m², 216 matrix elements, 28 unknowns

where $k^{(o)}$ is for the modulus of reaction of the basement; it depends not only on geotechnical parameters of ground, but also on the shape of the structure and is usually determined according to B. G. Galerkin

$$k^{(o)} = \frac{E}{R(1-\nu)}, \quad (4)$$

where l_i is for the length of a side of the polygon and b is for the length of the ring of the lining being assessed, which is usually 1m wide, E is for modulus of ground deformation, R is for radius of the circle substituting the excavation, and ν is for Poisson's ratio. Deformation and rotation of i -th node are marked U_i , V_i , q_i and internal forces in the i -th node are marked X_i , Y_i , M_i and for internal computation parameters external loadings $\underline{X}_i$, $\underline{Y}_i$ are described by the column matrix $\{P_i\}$ and the column matrix $\{P_i\}$ for external loads, where

6. NĚKTERÉ STAVBY POSOUZENÉ OBECNOU POLYGONÁLNÍ METODOU

V roce 1991 vypracoval Metroprojekt výzkumný úkol „Podklad pro prováděcí projekt, Betonáž monolitického ostění“ [4], kde je navrženo ostění jednokolejného tunelu metra s vnitřním světlym průměrem 5,2 m. Ostění je dvouplášťové, stříkaný beton má tloušťku 80 mm pro třídu NRTM II, 100 mm pro třídu III a 150 mm pro třídu IV, definitivní ostění má tloušťku 300 mm, je navrženo z betonu B30 (dnes C25/30) vodotěsnost zajišťuje mezilehlá izolace. Realizační projekt traťového tunelu na trase metra IVB 05 v METROPROJEKTU Praha a.s. vypracoval L. Mařík a K. Bursová (*Tunel 2/1992*) [8] [9]. Pro časový interval 0–28 dní a technologickou třídu IIIb tito autoři uvádějí deformace klenby traťového tunelu vypočtené pro 1. a 2. Menclovu mez (obr. 4).

V roce 1990 vypracovává METROPROJEKT Praha a. s. (K. Novosad a J. Zlámal) projekt Kolektor Brno-Cejl (Gottwaldova II). Komora křížení kolektoru prováděná NRTM má výšku výrubu 10,3 m, plocha výrubu je 73,5 m². Do statického výpočtu bylo zahrnuto zajištění klenby komory ocelovými svorníky (obr. 6). Zhotovitel (Subterra a.s. – Jaroslav Štaviček) provedl zkoušku ocelových svorníků na tah a ani při tahové síle, která odpovídala přibližně 80 kN, nedošlo k jejich vytažení.

V roce 1992 je na trase metra IVB ve stanici Hloubětín použita NRTM pro výstavbu středního staničního tunelu (SST), jehož součástí je i technologická část stanice a napínací komora eskalátoru. Kombinuje se NRTM a prstencová metoda. V první fázi se razí

$$\{P_i\} = \begin{Bmatrix} U_i \\ V_i \\ \Theta_i \\ X_i \\ Y_i \\ M_i \end{Bmatrix}; \{P_j\} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \underline{X}_i \\ \underline{Y}_i \\ 0 \end{Bmatrix}. \quad (5)$$

The introduction of the reaction of supports as the internal force for i -th node and incorporation of deformations of the flexible supports lead to a change in the modulus of ground deformation $[k_p]$, which influences the computation parameters. In a general case, the load can be attached to any arbitrary node (nodes have special numbering marked by us as j). Then the matrix notation of the equation for computation parameters for node n with the boundary conditions known has the following form

$$\{P_n\} = \prod_{i=n+1}^1 [K_i] \{P_o\} + \sum_{j=1}^n \prod_{i=n+1}^{j+1} [K_i] \{P_j\}, \quad (6)$$

where $\{P_o\}$ is for a column matrix of initial computation parameters.

5. COMPUTATION OF INTERNAL FORCES USING POLYGONAL METHOD – COMPUTATION EXAMPLES

In practice, a system of equations is solved in the matrix form with n_p number of unknowns. The structure is modelled by means

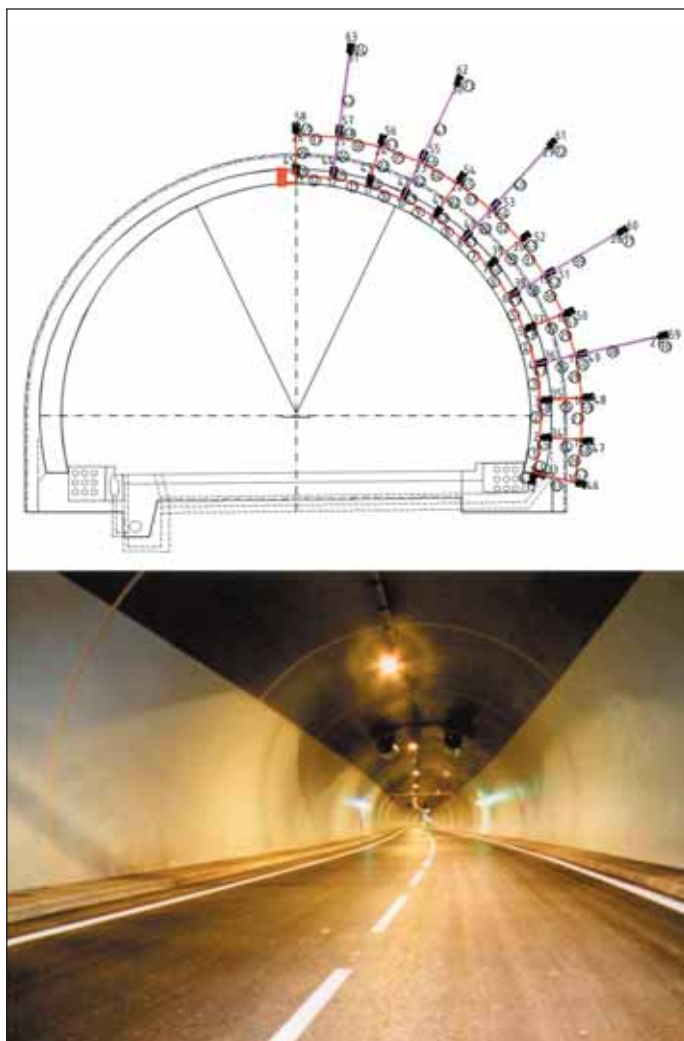


foto Amberg Engineering Brno, a.s. photo Amberg Engineering Brno, a.s.

Obr. 7 Brno, Pisárecký tunel 93,3 m², prvků matice 1099, počet neznámých 85
Fig. 7 Brno, Pisárecký tunnel 93.3m², 1099 matrix elements, 85 unknowns

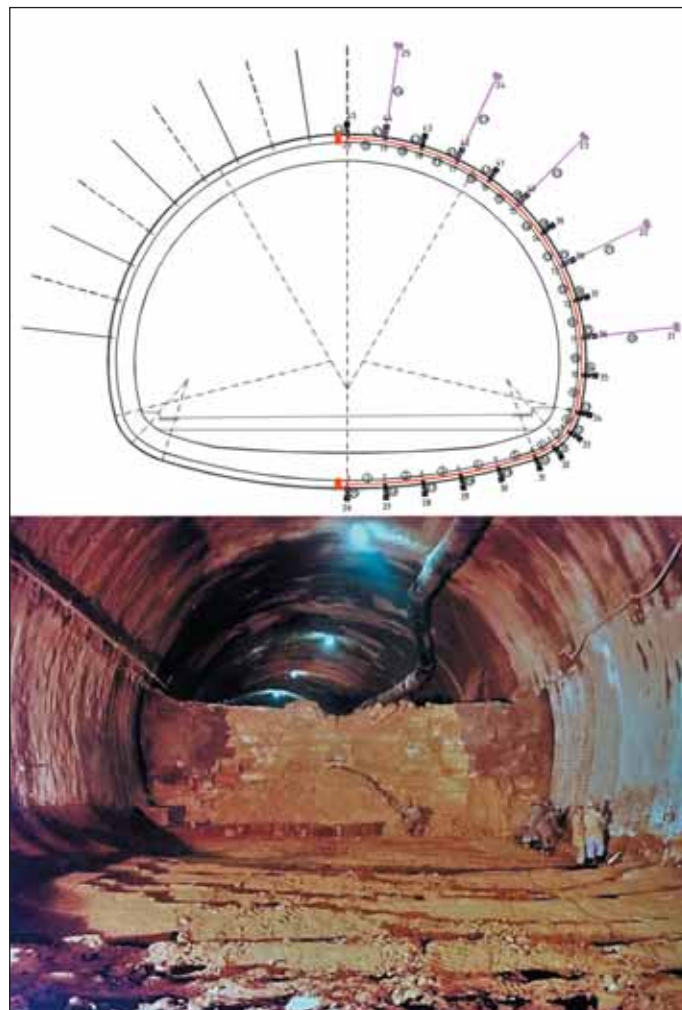


foto Jaroslav Altmann, K+K průzkum s.r.o. photo Jaroslav Altmann, K+K průzkum s.r.o.

Obr. 8 Hřebeč na silnici I/35 147,16 m², prvků matice 558, počet neznámých 66
Fig. 8 Hřebeč tunnel on I/35 road, 147.16m², 558 matrix elements, 66 unknowns

metodou NRTM kalota tunelu ve tvaru dosti ploché kruhové úseče a potom následuje prohloubení výrubu na celý profil staničního tunelu s okamžitou montáží definitivního ostění prstencovou metodou, projektant je METROPROJEKT Praha a.s., J. Růžička at al. (*Tunel 3/1993*) [10].

V roce 1992/3 se METROPROJEKT Praha a.s. účastní v Brně výběrového řízení na Pisárecký tunel – Pražská radiála. Po dobrých zkušenostech se svorníky jsou tentokrát poprvé ve výpočtu použity svorníky laminátové. Předpokládala se jejich dlouhodobá životnost, a proto ve statickém výpočtu primárního i definitivního ostění byly použity (obr. 7). Konce laminátových svorníků byly zavěšeny na pružiny modelující pružný posun kořenů svorníků v hornině.

Amberg Engineering Brno a.s. od METROPROJEKTU Praha a.s. tento návrh přebírá do realizační dokumentace. Ostění tunelu je dvouplášťové s mezilehlou izolací. Primární ostění tvoří stříkaný beton s ocelovými sítěmi a příhradovými ocelovými rámy.

Na silnici I/35 u Moravské Třebové se v roce 1993 začíná projektovat tunel Hřebeč. Ostění tunelu je dvouplášťové s mezilehlou izolací. Primární ostění tvoří stříkaný beton s ocelovými sítěmi, příhradovými ocelovými rámy a s hydraulickými svorníky. Definitivní ostění je z monolitického železobetonu (obr. 8). Pro velmi špatné geologické podmínky byly použity hydraulické svorníky, 70 % délky tunelu má v nadloží jemně písčitou svahovou hlínu s příměsí úlomků zvětralých písčitých slínovců až hlinitokamenitou svahovou suť.

Jako pro komoru křížení kolektoru Brno-Cejl, Pisárecký tunel v Brně a tunel Hřebeč bylo v roce 1995 navrženo podobné statické schéma pro dvoukolejný tunel metra IVB-07 Hloubětín – Černý most.

Ve statickém schématu se změnilo uspořádání svorníků, konce ocelových svorníků byly uchyceny na pružiny (obr. 9). Horninové prostředí okolo dvoukolejného tunelu tvořily nekvalitní libeňské břidlice a řevnické křemence, nebyla jistota, že ve vzdálenosti 4 m od primárního ostění bude v klenbě dostatečně pevná hornina a nedojde k posunu kořene svorníku. Realizační dokumentaci vypracoval METROPROJEKT Praha a.s.

V roce 2013 byl obnoven projekt Kolektor Hlávkův most (původní projekt byl z roku 2006), kde je opět použita metoda mezní únosnosti s použitím obecné polygonální metody.

Konstrukce tunelových ostění je obvykle symetrická podle vodorovné osy y , proto statická schémata jsou pro symetrická zatížení zjednodušená a počítá se jen polovina konstrukce.

Výpočty jsou prováděny v parametrické studii pro několik výpočtových modulů reakce podloží, nejčastěji se používá $k_{vyp} = 5, 50, 100$ a 500 MNm^{-3} (modul reakce podloží $k_{vyp} = 5 \text{ MNm}^{-3}$ byl stanoven pro kladenské popílky na výsypce, Ing. Hudek PÚDIS a.s.). Vodorovné zatížení je zadáváno podle geotechnických parametrů horninového masivu a je stanoveno většinou jako podíl $p/q = 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6$. Parametrická studie tak může obsahovat až 20 výpočtů s různým výpočtovým modulem reakce podloží a různým poměrem vodorovného ke svislému zatížení.

Výsledkem těchto výpočtů jsou vnitřní síly M_p, N_p, Q_p . Maximální únosnost ostění tunelu je vyhodnocena pomocí interakčního diagramu betonu, vyjadřujícího únosnost konstrukce pro různé poměry momentů a normálových sil. Pro hodnoty vnitřních sil (momentů a normálových sil) je vypočten poměr návrhové únosnosti k únosnosti konstrukce jako M_{Edy}/M_{Rdy} , tyto hodnoty jsou součástí výstupu z programu Fin10, Beton 2D EC, železobetonová konstrukce je posouzena interakčním diagramem. Tento vztah je zapsán do rovnice jako poměr $p_u(t)$ k $p_i(t)$ nebo $p_u(t)$ k $p_j(t)$.

Zatížení v bodech i a j vyvolá statické veličiny M_p, N_p, Q_i a M_j, N_j, Q_j a vypočtené vnitřní síly v ostění pro body i a j jsou popsány rovnicemi:

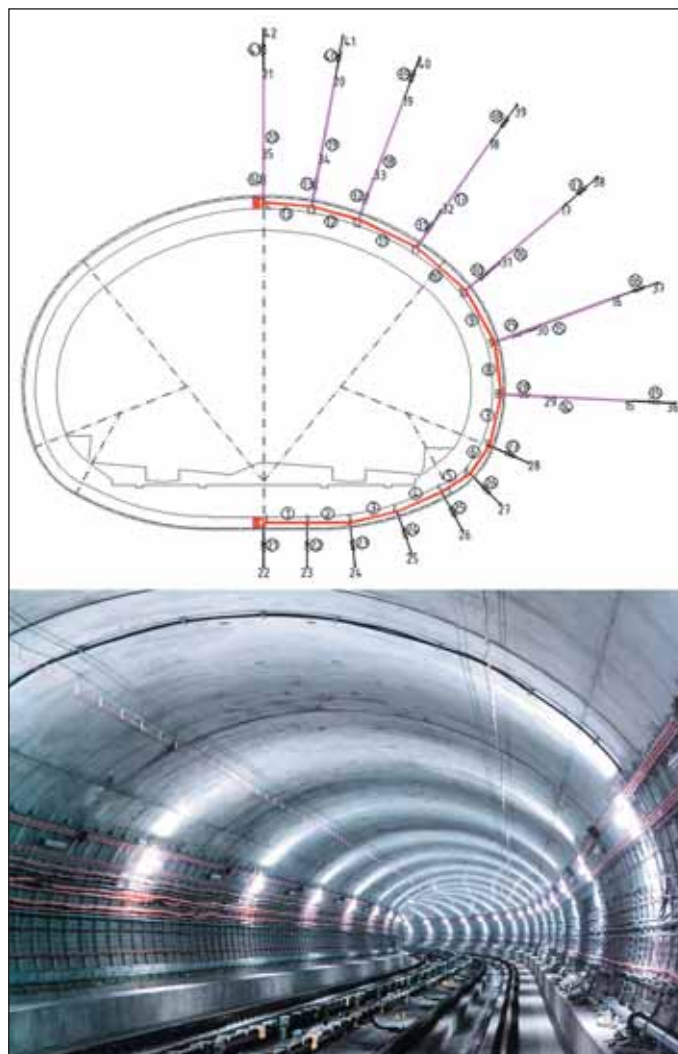


foto Metropojekt Praha, a.s. photo Metropojekt Praha, a.s.

Obr. 9 Metro IVB 07, dvoukolejný tunel $69,4 \text{ m}^2$, prvků matice 475, počet neznámých 52

Fig. 9 Metro IVB 07, double-track tunnel 69.4 m^2 , 475 matrix elements, 52 unknowns

of beams, nodes and Winkler springs. Ground pressures and geotechnical parameters of the surrounding environment vary along the length of linear structures. In a parameter study, several modules of sub-grade reaction k_{vyp} are assigned to the ground environment, the structure is loaded with several different proportions of vertical and horizontal loads p/q and the combination of the toughness of springs and the proportion of loads most unfavourable for the structure is assessed. Structural diagrams presented in Figures 5–10 are used for the computation of internal forces.

6. SOME STRUCTURES ASSESSED USING THE GENERAL POLYGONAL METHOD

In 1991, Metroprojekt fulfilled the research task “Background for the detailed design; Concreting of cast-in-situ lining” [4], where a lining with the internal diameter of 5.2m is proposed. The lining is of the double-shell type, the primary shotcrete layer is 80mm thick for NATM excavation support class II, 100mm thick for class III and 150mm thick for class IV; the final lining is 300mm thick. Concrete B30 (today C25/30) is designed for the final lining. The waterproofing capacity is provided by an intermediate membrane. The detailed design for the running tunnel on the IVB 05 metro line was developed in METROPROJEKT Praha a.s. by L. Mařík and K. Bursová (*Tunel 2/1992*) [8] [9]. For the interval of time 0–28 days and excavation support class IIIb, the authors quoted

$$p_i(t) = f(M_i, N_i, Q_i), \quad (7)$$

$$p_j(t) = f(M_j, N_j, Q_j). \quad (8)$$

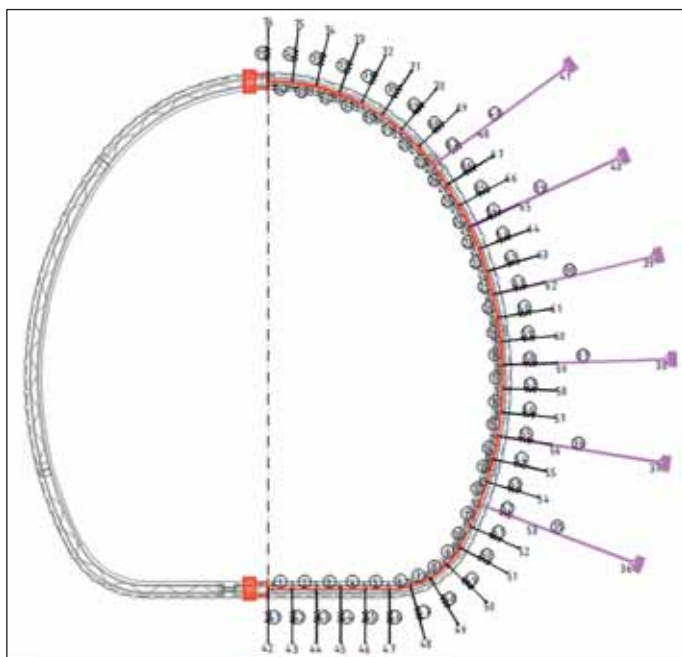
Pak mezní únosnosti tunelového ostění odpovídají statické veličiny M_{ui} , N_{ui} , Q_{ui} nebo M_{uj} , N_{uj} , Q_{uj} , tedy zjednodušený zápis je

$$p_{ui}(t) = f(A_b, A_s, f_{ck}(t), f_y) = f(M_{ui}, N_{ui}, Q_{ui}) \quad (9)$$

a také

$$p_{uj}(t) = f(A_b, A_s, f_{ck}(t), f_y) = f(M_{uj}, N_{uj}, Q_{uj}), \quad (10)$$

kde A_b je plocha účinného betonu, $f_{ck}(t)$ je pevnost betonu, A_s je plocha účinné výztuže, f_y je mez kluzu oceli.



Obr. 10 Praha kolektor Hlávkaův most 73,3 m², prvků matice 1251, počet neznámých 143

Fig. 10 Prague, Hlávka Bridge utility tunnel 73.3m², 1251 matrix elements, 143 unknowns

deformations of the vault of the running tunnel computed for the first and second Mencl limits (see Fig. 4).

In 1990, METROPROJEKT Praha a.s. (K. Novosad and J. Zlámal) carried out the design for the Brno-Cejl utility tunnel (Gottwaldova II street). The utility tunnel intersection chamber is 10.3m high and the excavated cross-sectional area amounts to 73.5m². The structural analysis comprised the support of the chamber vault with steel bolts (see Fig. 6). The contractor (Subterra a.s. – Jaroslav Štaviček) conducted a pull-out test of the steel bolts and none was pulled out even with tensile force corresponding to approximately 80kN.

In 1992, the NATM was used on the IVB metro line at Hloubětín station for the construction of the middle station tunnel (MST) parts of which were also the technology part of the station and the escalator tensioning chamber. The NATM and the Ring Method were combined. In the first phase, the tunnel top heading with the excavation geometric shape constructed of a quite flat circular segment was driven using the NATM. Deepening of the excavation to the full station tunnel profile with immediate installation of the final lining using the Ring Method followed. The design was carried out by METROPROJEKT Praha a.s., J. Růžička at al. (Tunel 3/1993) [10].

In 1992/3, METROPROJEKT Praha a.s. participated in the tender proceedings for the Pisárky tunnel on the Prague radial road in Brno. After positive experience with the bolts, glassfibre reinforced plastic bolts were for the first time used in the computation. Their long-term durability was assumed and for that reason they were used in the structural analysis of the primary and secondary linings (see Fig. 7). The ends of the glassfibre reinforced plastic bolts were suspended of the springs modelling the flexible displacement of roots of the bolts in the ground.

Amberg Engineering Brno a.s. took this design over from METROPROJEKT Praha a.s. and used it for the detailed design. The tunnel lining is a double-shell structure with an intermediate waterproofing system. The primary lining is formed by shotcrete with welded mesh and steel lattice girders.

The work on the Hřebeč tunnel located on the I/35 road near Moravská Třebová started in 1993. The double-shell tunnel lining is formed by shotcrete, welded mesh and steel lattice girders with hydraulically expanded bolts. The final lining is from cast-in-situ reinforced concrete (see Fig. 8). The hydraulically expanded bolts were used with respect to very poor geological conditions; finely sandy slope loam with fragments of weathered sandy marlstone up to loamy-stony slope debris were found in the overburden along 70% of the tunnel length.

As for the intersection chamber on the Brno-Cejl utility tunnel, the Pisárky tunnel and the Hřebeč tunnel, similar structural diagram was proposed in 1995 for the IVB-07 double-track metro tunnel line between Houbětín and Černý Most stations.

In the structural diagram, the arrangement of rock bolts was changed, as well as the ends of the steel bolts, which were fixed to springs (see Fig. 9). The rock environment surrounding the double-track tunnel was formed by low-quality Libeň shale and Řevnice quartzite and there was no certainty whether sufficiently strong rock would be encountered at the distance of 4m from the primary vault lining and the root of the rock bolt would not be displaced. The detailed design was developed by METROPROJEKT Praha a.s.

In 2013, the design for the Hlávka Bridge utility tunnel was renewed (the original design was dated 2006). The ultimate bearing capacity method using the general polygonal method was again applied.

The structure of tunnel linings is usually symmetrical about the vertical y axis. For that reason structural diagrams for symmetric loads are simplified and only one half of the structure is analysed.

Mezní únosnost tunelového ostění je pak určena jako $p_{ui}(t)$, a zatížení tunelového ostění je $p_i(t)$, kde platí

$$p_i(t) < p_{ui}(t). \quad (11)$$

Stejně je určena mezní únosnost tunelového ostění v bodě j jako $p_{uj}(t)$, a zatížení tunelového ostění je $p_j(t)$, kde platí

$$p_j(t) > p_{uj}(t), \quad (12)$$

pak konstrukce nevyhoví, a musí se hledat řešení vyhovující rovnici (11).

Uvedené rovnice vyjadřují zjednodušeně princip Menclových mezí [5], [6].

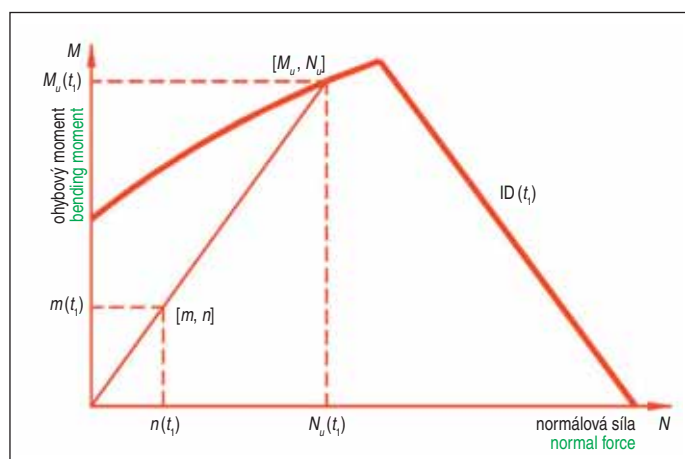
7. MENCLOVY MEZE

Únosnost soustavy hornina-ostění není diskretní, mechanické vlastnosti soustavy jsou funkcemi času a měnících se materiálových vlastností, kdy liniová stavba prochází různým geologickým prostředím. Každé funkci zatížení $q_i(t)$ přísluší vlastní funkce únosnosti $Q_i(t)$. Tím se soustava, obsahující ostění ze stříkaného betonu, podstatně liší od soustavy, kde ostění a hornina mají konstantní mechanické vlastnosti. V takové soustavě je únosnost ostění vyjádřena jednou hodnotou. Jakékoliv funkci zatížení $q_i(t)$ zde odpovídá jediná únosnost $Q = \text{konstanta}$. V teorii únosnosti ostění ze stříkaného betonu má zásadní význam funkce únosnosti $Q_1(t)$ příslušná k nulové funkci zatížení $q_1(t) = 0$ a funkce únosnosti $Q_2(t)$ korespondující s funkcí zatížení $q_2(t)$, které udržuje ostění neustále v mezním stavu únosnosti. V tomto případě zřejmě platí $q_2(t) = Q_2(t)$. Funkce $Q_1(t)$ se nazývá první Menclovou mezí, funkce $Q_2(t)$ druhou Menclovou mezí [5, 6]. První Menclova mez $Q_1(t)$ udává, jak velké zatížení by v čase t mohlo skokem dolehnout na dosud nezátíženou soustavu hornina-ostění, aniž by únosnost ostění byla vyčerpána. To znamená, že bod $[M_u, N_u]$ obr. 11, udávající moment M a normálovou sílu N kritického průřezu od zatížení $q_2(t)$, leží v kterémkoliv okamžiku t_0 na interakčním diagramu $ID(t_0)$.

Funkce zatížení $q_i(t)$ ležící nad druhou Menclovou mezí jsou zaručeně neúnosné, zatímco funkce zatížení ležící pod první Menclovou mezí jsou zaručeně únosné. Funkce zatížení situované mezi Menclovými mezemi $Q_1(t)$ a $Q_2(t)$ mohou být jak únosné, tak neúnosné.

Mezi neúnosné patří funkce typu $q^*(t)$ z obr. 12.

Jsou to funkce, které jsou zpočátku menší nežli funkce $Q_2(t)$ (mohou být zpočátku dokonce menší nežli $Q_1(t)$), nakonec však s funkcí $Q_2(t)$ splynou. Splynutí funkcí znamená, že funkce typu $q^*(t)$ bude od nějakého okamžiku t_1 funkcí neúnosnou, takže pro $t > t_1$ platí



Obr. 11 Menclové meze $Q_1(t)$ a $Q_2(t)$; $[m, n]$ – vnitřní síly od jednotkového zatížení

Fig. 11 Mencl limits $Q_1(t)$ and $Q_2(t)$; $[m, n]$ – internal forces induced by unit load

Computations are conducted in a parametric study for several computation modules of the subgrade reaction with $k_{vyj} = 5, 50, 100$ and 500 MNm^{-3} used most frequently (the modulus of subgrade reaction $k_{vyj} = 5 \text{ MNm}^{-3}$ was determined for Kladno flying ash collected on a dump, Ing. Hudek PUDIS a.s.). Horizontal loading is determined according to geotechnical parameters of the ground mass, mostly as a proportion $p/q = 0.2; 0.3; 0.4; 0.5; 0.6$. The parametric study can therefore contain up to 20 calculations with various computation modules of subgrade reaction and various proportions of horizontal to vertical loads.

Internal forces M_p, N_p, Q_i are the results of the calculations. The maximum bearing capacity of the tunnel structure is assessed by means of the *concrete interaction diagram*, expressing the bearing capacity of the structure for various proportions of moments to normal forces. The proportion of the design bearing capacity to bearing capacity of the structure is calculated for the values of internal forces (moments and normal forces) as M_{Edy}/M_{Rdy} . These values are parts of the output from the Fin10, Beton 2D EC software; the reinforced concrete structure is assessed using the interaction diagram. This relationship is entered into the equation as the proportion of $p_{ui}(t)$ to $p_i(t)$ or $p_{uj}(t)$ to $p_j(t)$.

Loading acting at points i and j induces static quantities M_p, N_p, Q_i and M_j, N_j, Q_j and the computed internal forces in the lining for points i and j are described by equations

$$p_i(t) = f(M_i, N_i, Q_i), \quad (7)$$

$$p_j(t) = f(M_j, N_j, Q_j). \quad (8)$$

Static quantities M_{ui}, N_{ui}, Q_{ui} or M_{uj}, N_{uj}, Q_{uj} then correspond to the ultimate bearing capacity, therefore the simplified notation is as follows:

$$p_{ui}(t) = f(A_b, A_s, f_{ck}(t), f_y) = f(M_{ui}, N_{ui}, Q_{ui}) \quad (9)$$

and also

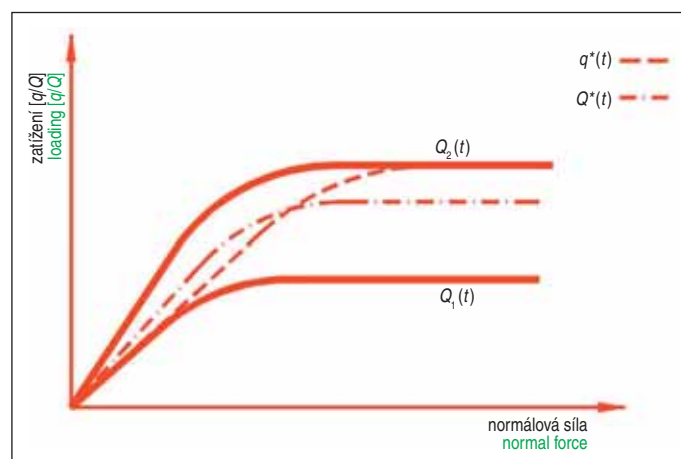
$$p_{uj}(t) = f(A_b, A_s, f_{ck}(t), f_y) = f(M_{uj}, N_{uj}, Q_{uj}), \quad (10)$$

where A_b is for effective area of concrete, $f_{ck}(t)$ is for concrete strength, A_s is for effective area of steel reinforcement, f_y is for yield strength of steel.

Ultimate bearing capacity of a tunnel lining is then determined as $p_{ui}(t)$, and load acting on the tunnel lining is $p_i(t)$, where it applies that

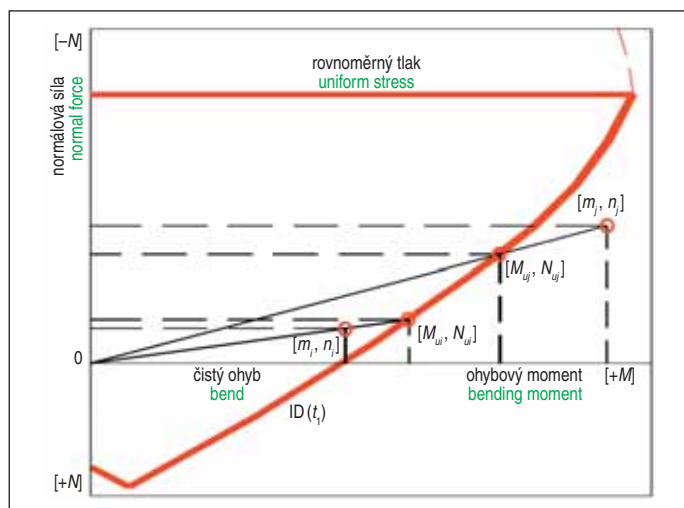
$$p_i(t) < p_{ui}(t). \quad (11)$$

Ultimate bearing capacity of the tunnel lining at point j is



Obr. 12 Menclové meze $Q_1(t)$ a $Q_2(t)$

Fig. 12 Mencl limits $Q_1(t)$ and $Q_2(t)$



Obr. 13 Interakční diagram – mezní únosnost a skutečné zatížení tunelového ostění

Fig. 13 Interaction diagram – ultimate bearing capacity and actual load acting on tunnel lining

$$Q^*(t) < q^*(t), \quad (13)$$

kde $Q^*(t)$ je funkce únosnosti přiřazená funkci zatížení $q^*(t)$, přestože před tím mohla být únosnou funkcí zatížení, tedy

$$q^*(t) < Q^*(t) \text{ pro } t \in <0, t_1>. \quad (14)$$

8. VYHODNOCENÍ KOEFICIENTU ÚNOSNOSTI

Pro výrazy zavedené rovnicemi (7) až (12) platí následující vyhodnocení koeficientu únosnosti ostění s_i . Hodnoty zatížení $p_i(t)$ uvedené na obr. 13 jako $[m_i, n_i]$, a únosnosti $p_{ui}(t)$ uvedené jako $[M_{ui}, N_{ui}]$, $p_j(t)$ uvedené jako $[m_j, n_j]$ a únosnosti $p_{uj}(t)$ uvedené jako $[M_{uj}, N_{uj}]$ se vyhodnotí jako únosnost tunelového ostění v bodech i a j (obr. 13).

Koeficient únosnosti ostění s_i je definován jako poměr $p_{ui}(t)$ a $p_i(t)$ nebo $p_{uj}(t)$ a $p_j(t)$

$$\frac{p_{ui}(t)}{p_i(t)} = s_i, \quad (15)$$

$$\frac{p_{uj}(t)}{p_j(t)} = s_j. \quad (16)$$

Je-li koeficient

$$s_i < 1,$$

ostění tunelu vyhoví na mezním stavu únosnosti. Je-li koeficient

$$s_j > 1,$$

je překročena mez pevnosti a konstrukce na mezním stavu únosnosti nevyhoví.

Stejným způsobem se vyhodnotí koeficient s_i ve všech uzlech po obvodu ostění. Mezní únosnosti ostění je obvykle dosaženo pouze v jednom bodě ostění a posudek ostění je obvykle nutné doplnit o posouzení na mezní stav použitelnosti (deformace) a mezní stav trhlin.

9. ÚNOSNOST OSTĚNÍ DVOUKOLEJNÉHO TUNELU IVB – 07-22/02 JAKO FUNKCE $f(t)$

V praxi byla metoda mezní únosnosti tunelového ostění stanovující kritické místo na celém obvodu ostění tunelu vypočtením hodnot s_i použita na mnoha velkých tunelových stavbách, jako je např. Kolektor Brno-Cejl – Komora křížení rok 1990, Brno – Pisárecký tunel silnice I/23, ulice Bítešská, rok 1994, silniční tunel na

determined in the same way as $p_{uj}(t)$, and loading acting on tunnel lining is $p_j(t)$, where it applies that

$$p_j(t) > p_{uj}(t). \quad (12)$$

Then the structure does not comply and the solution complying with the equation (11) has to be sought.

The equations presented above express the Mencl limits in a simplified way [5], [6].

7. MENCL LIMITS

The bearing capacity of a ground-lining system is not discrete; mechanical properties of the system are functions of time and changing material properties when a linear structure passes through varying geological environment. Each loading function $q_i(t)$ is assigned its own bearing capacity function $Q_i(t)$. Owing to this fact, the system containing the shotcrete lining significantly differs from the system where the lining and ground have constant mechanical properties. In such a system bearing capacity of a lining is expressed by one value. Only one bearing capacity $Q = \text{constant}$ corresponds here to any loading function $q_i(t)$. The bearing capacity function $Q_1(t)$ pertaining to the zero bearing capacity function $q_1(t) = 0$ and the bearing capacity function $Q_2(t)$ corresponding to the loading function $q_2(t)$, which keeps the lining continually at the ultimate limit state, has crucial importance in the theory of bearing capacity of shotcrete lining. It is obviously valid in this case that $q_2(t) = Q_2(t)$. We call the function $Q_1(t)$ the first Mencl limit and the $Q_2(t)$ the second Mencl limit [5, 6]. First Mencl limit $Q_1(t)$ determines how heavy load could started step-wise to act on the not yet loaded ground-lining system in time t without exhausting the bearing capacity of the loading. It means that the point $[M_u, N_u]$ in Figure 11 indicating the moment M and normal force N induced by the load $q_2(t)$ lies at any moment t_0 on the interaction diagram $ID(t_0)$.

The functions of loading $q_i(t)$ lying above the second Mencl limit are certainly unbearable, whilst the functions of loading lying under the first Mencl limit are certainly bearable. Functions of loading located between the Mencl limits $Q_1(t)$ and $Q_2(t)$ can be either bearable or unbearable.

Among unbearable functions there are functions of the $q^*(t)$ type from Figure 12.

These functions are smaller than functions $Q_2(t)$ from the beginning (they can be even smaller than $Q_1(t)$ in the beginning, but they merge with function $Q_2(t)$ in the end. Merging of the functions means that $q^*(t)$ function-type will become unbearable from some moment t_1 the unbearable function. For $t > t_1$ it applies that

$$Q^*(t) < q^*(t), \quad (13)$$

where $Q^*(t)$ is for the function of bearing capacity assigned to the loading function $q^*(t)$, despite the fact that it could be the bearable function of loading, that is

$$q^*(t) < Q^*(t) \text{ pro } t \in <0, t_1>. \quad (14)$$

8. ASSESSMENT OF BEARING COEFFICIENT

The following assessment of the coefficient of bearing capacity of the lining s_i is applicable to expressions introduced by equations (7) through to (12): The values of loading $p_i(t)$ presented in Fig. 13 as $[m_i, n_i]$ and the bearing capacity $p_{ui}(t)$ presented as $[M_{ui}, N_{ui}]$, the $p_j(t)$ values presented as $[m_j, n_j]$ and bearing capacity $p_{uj}(t)$ presented as $[M_{uj}, N_{uj}]$ are assessed as bearing capacity of tunnel lining at points i and j (see Fig. 13).

The coefficient of bearing capacity of a lining s_i is defined as a proportion of $p_{ui}(t)$ to $p_i(t)$ or $p_{uj}(t)$ to $p_j(t)$

silnici I/35 Hřebeč – Moravská Třebová, rok 1993, dvoukolejný tunel metra IVB-07 Hloubětín – Černý most v km 27,371–27,321, rok 1994–1995. Pro výše uvedené projekty prováděné NRTM byl vypracován statický výpočet metodou mezních zatížení.

Osová vzdálenost kolejí dvoukolejného tunelu je v délce 256,589 m proměnná, proto byly navrženy tři typy ostění s osovou vzdáleností kolejí 4,405 m, 3,900 m a 3,700 m. Jako příklad následují výsledky výpočtu metodou mezních zatížení pro dvoukolejný tunel metra IVB-07 Hloubětín – Černý most s osovou vzdáleností kolejí 4,405 m.

Únosnost ostění dvoukolejného tunelu byla stanovena pro modul reakce podloží $k_{vyp} = 25\text{--}50\text{ MNm}^{-3}$ a pro poměr bočního tlaku $p/q = 0,30\text{--}0,40$ a pro technologické třídy NRTM 4c, 5a, 5b. Dále uváděné hodnoty únosnosti primárního ostění jsou vypočteny pro beton B20 (C16/20) s výpočtovou mezí pevnosti 11,5 MPa a pro ocel 10 425 s výpočtovou mezí pevnosti 375 MPa. Nárůst pevnosti betonu a modulu deformace v čase byly převzaty ze Zapletal, A., Bucek, M., Barták, J. „*Směrnice pro navrhování ostění budovných NATM*“ [5] obr. 1.

Hodnoty vnitřních sil M_p , N_p , Q_i jsou vypočteny pro časový interval 0,5; 0,75; 1; 3; 5; 7; 15; 28 dní pro všechny uzly polygonu očíslované 1-n na obvodu ostění.

Maximální únosnost vnějšího ostění tunelu je vyjádřena jako funkce

$$q_{i0} = q_{\max} = f(k_{vyp}; p/q) \quad (19)$$

a tato hodnota musí splňovat podmínku

$$q_z < q_{i0} \quad (20)$$

kde k_{vyp} = modul reakce podloží – pro výpočet $k_{vyp} = 25\text{--}50\text{ MNm}^{-3}$
 p/q = poměr vodorovného k svislému tlaku – pro výpočet použito $p/q = 0,3\text{--}0,4$,

$q_{i0} = q_{\max}$ = mezní únosnost ostění tunelu (kNm^{-2}),

q_z = skutečné svislé zatížení ostění tunelu (kNm^{-2}).

Vnitřní síly v ostění tunelu a následně meze únosnosti byly vypočteny podle výše uvedené metodiky pro celý obvod ostění. Nejmenší únosnosti ostění q_{i0} jsou v následující tabulce uvedeny pro technologickou třídu 4c a pro $k_{vyp} = 25; 50\text{ MNm}^{-3}$ a $p/q = 0,3; 0,4$.

Minimální hodnoty mezní únosnosti tunelového ostění dvouko-

Tab. 1 Mezní únosnosti tunelového ostění

Table 1 Ultimate bearing capacities of tunnel lining

technologická třída 4c excavation support class 4c		
	$k = 25\text{ MNm}^{-3}$ $k = 25\text{ MNm}^{-3}$	$k = 50\text{ MNm}^{-3}$ $k = 50\text{ MNm}^{-3}$
$p/q = 0,3$ $p/q = 0,3$	$q_{i0} = 153,3\text{ kNm}^{-2}$ $q_{i0} = 153,3\text{ kNm}^{-2}$	$255,0\text{ kNm}^{-2}$ $255,0\text{ kNm}^{-2}$
$p/q = 0,4$ $p/q = 0,4$	$q_{i0} = 166,7\text{ kNm}^{-2}$ $q_{i0} = 166,7\text{ kNm}^{-2}$	$270,0\text{ kNm}^{-2}$ $270,0\text{ kNm}^{-2}$
technologická třída 5a excavation support class 5a		
$p/q = 0,3$ $p/q = 0,3$	$q_{i0} = 143,3\text{ kNm}^{-2}$ $q_{i0} = 143,3\text{ kNm}^{-2}$	$210,0\text{ kNm}^{-2}$ $210,0\text{ kNm}^{-2}$
$p/q = 0,4$ $p/q = 0,4$	$q_{i0} = 153,7\text{ kNm}^{-2}$ $q_{i0} = 153,7\text{ kNm}^{-2}$	$221,0\text{ kNm}^{-2}$ $221,0\text{ kNm}^{-2}$
technologická třída 5b excavation support class 5b		
$p/q = 0,3$ $p/q = 0,3$	$q_{i0} = 102,7\text{ kNm}^{-2}$ $q_{i0} = 102,7\text{ kNm}^{-2}$	$160,0\text{ kNm}^{-2}$ $160,0\text{ kNm}^{-2}$
$p/q = 0,4$ $p/q = 0,4$	$q_{i0} = 119,2\text{ kNm}^{-2}$ $q_{i0} = 119,2\text{ kNm}^{-2}$	$187,0\text{ kNm}^{-2}$ $187,0\text{ kNm}^{-2}$

$$\frac{p_{ui}(t)}{p_i(t)} = s_i, \quad (15)$$

$$\frac{p_{uj}(t)}{p_j(t)} = s_j. \quad (16)$$

When the coefficient

$$s_i < 1,$$

the tunnel lining will satisfy at the ultimate limit state. When the coefficient

$$s_j > 1,$$

the ultimate strength is exceeded and the structure will not satisfy at the ultimate limit state.

The same procedure is applied to the assessment of coefficient s_i at all nodes around the lining circumference. Ultimate bearing capacity is usually reached only at one point of the lining and it is usually necessary to add the assessment to the lining serviceability limit (deformation) and to the ultimate crack limit.

9. BEARING CAPACITY OF IVB – 07-22/02 DOUBLE-TRACK TUNNEL LINING AS THE $f(t)$ FUNCTION

In practice, this method of the ultimate limit bearing capacity of a tunnel lining determining the critical point on the whole lining circumference by computing the values s_i was used at numerous large tunnel construction projects, for example, the Brno-Cejl Utility Tunnel – Intersection chamber in 1990, the Pisárky tunnel Brno on I/23 road in Bítešská Street in 1994, the Hřebeč road tunnel on road I/35, Hřebeč – Moravská Třebová in 1993, the double-track IVB-07 metro tunnel between Hloubětín and Černý Most at chainage km 27.371–27.321 in 1994–1995. The structural analysis for the above-mentioned tunnel construction projects carried out using the NATM was carried out using the ultimate limit load method.

The track centre distance in the double-track tunnel is variable along the length of 256.589m. For that reason three types of lining were designed for the track centre distances of 4.405m, 3.900m and 3.700m. Results of the computation using the method of ultimate limit load for the metro IVB-07 double-track tunnel between Hloubětín and Černý Most, with the track centre distance of 4.405m, are presented as an example.

The bearing capacity of the double-track tunnel lining was determined for the modulus of sub-grade reaction $k_{vyp} = 25\text{--}50\text{ MNm}^{-3}$ (and for the proportion of the side pressure $p/q = 0.30\text{--}0.40$ and for NATM excavation support classes 4c, 5a, 5b. The below presented values of the bearing capacity of the primary lining were computed for B20 (C16/20) concrete with the design ultimate strength of 11.5MPa and for 10 425-grade steel with the design ultimate strength of 375MPa. The values of the concrete strength gain with time were taken over from Zapletal, A., Bucek, M., Barták, J. „*Directive for designing linings constructed using the NATM*“ [5] (see Fig. 1).

The values of internal forces M_p , N_p , Q_i were computed for time intervals 0.5; 0.75; 1; 3; 5; 7; 15; 28 days for all nodes of the polygon numbered 1-n on the lining circumference.

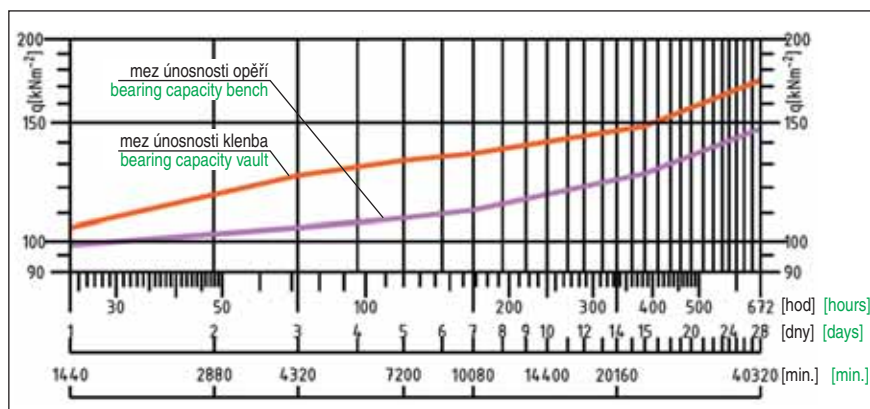
Maximum bearing capacity of the external lining of the tunnel is expressed as the function

$$q_{i0} = q_{\max} = f(k_{vyp}; p/q) \quad (19)$$

and this value has to meet the condition

$$q_z < q_{i0} \quad (20)$$

where k_{vyp} = modulus of sub-grade reaction – for the calculation purpose $k_{vyp} = 25\text{--}50\text{ MNm}^{-3}$,



Obr. 14 Mez únosnosti q_{uo} dvoukolejného tunelu IVB 07, osová vzdálenost kolejí 4405 mm

Fig. 14 Ultimate bearing capacity q_{uo} of IVB 07 double-track tunnel, track centre distance 4405 mm

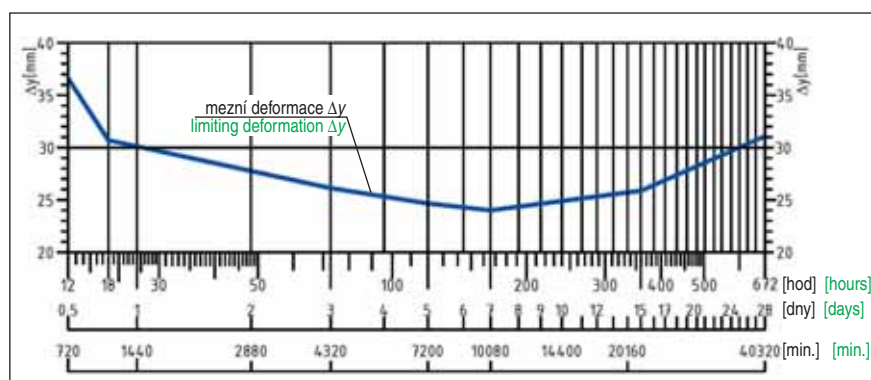
lejného tunelu jsou uvedeny v grafu obr. 14, pro klenbu a opěří, pro intervaly 1; 3; 5; 7; 15; 28 dní. Kritické místo ostění je v opěří tunelu, tam je po celou dobu tuhnutí stříkaného betonu menší mez únosnosti než v klenbě.

10. DEFORMACE OSTĚNÍ DVOUKOLEJNÉHO TUNELU IVB – 07-22/02 JAKO FUNKCE $f(t)$

Nedílnou součástí NRTM je monitoring. Metoda mezní únosnosti tunelového ostění stanoví kritické místo na celém obvodu ostění tunelu vypočtením hodnot s_i a následně stanoví mezní deformace Δx a Δy pro vybrané body na ostění tam, kde se bude provádět měření konvergencí. Deformace jsou vypočteny po celou dobu výstavby od zahájení nástřiku betonu až do jeho zatvrdnutí ve 28 dnů. Pro dvoukolejný tunel metra IVB-07 Hloubětín – Černý most byly vypočteny mezní deformace pro 0,5; 0,75; 1; 3; 5; 7; 15; 28 dní. Deformace jsou závislé na modulu reakce podloží, poměru vodorovného ke svislému zatížení, pevnosti betonu a modulu deformace. Modul reakce podloží k_{vyp} a poměr bočního tlaku p/q je ve výpočtu uvažován jako konstantní, R_{bt} a E_{bt} jsou proměnné v čase. Zde lze napsat pro deformaci klenby funkci

$$\Delta_y(t) = f\left(k_{vyp}; \frac{p}{q}; R_{bt}; E_{bt}\right). \quad (21)$$

Výsledky výpočtu jsou uvedeny na obrázku 15. Jsou zde uvedeny mezní deformace Δy klenby dvoukolejného tunelu IVB, osová vzdálenost kolejí 4405 mm. V období 0,5 až 28 dní se s nárůstem pevnosti a modulu deformace hodnoty mezních deformací mění. Monitoring musí v tomto případě velmi pečlivě sledovat deformace naměřené sedmý den, kdy povolená mezní deformace je 24 mm. Se zvyšující pevností a modulem deformace je 28. den povolená mezní deformace 31 mm (obr. 15). Stanovení diskretních hodnot mezní



Obr. 15 Mezní deformace $\Delta y(t)$ klenby dvoukolejného tunelu IVB 07, osová vzdálenost kolejí 4405 mm

Fig. 15 Ultimate deformation $\Delta y(t)$ of IVB 07 double-track tunnel, track centre distance 4405 mm

p/q = proportion of horizontal pressure to vertical pressure – for the calculation purpose $p/q = 0.3-0.4$,

$q_{uo} = q_{max}$ = ultimate bearing capacity of the tunnel (kNm^{-2}),

q_z = actual vertical load acting on the tunnel lining (kNm^{-2}).

The internal forces in the tunnel lining and the following ultimate bearing capacity were calculated for the whole lining circumference according to the above-mentioned methodology. The lowest values of the bearing capacity of the lining q_{uo} are presented in the following table for excavation support class 4c and for $k_{vyp} = 25$; $50MNm^{-3}$ and $p/q=0.3$; 0.4 .

The minimum values of the ultimate bearing capacity of the double-track tunnel lining are presented in Graph in Fig. 14 for the vault and bench, for intervals 1; 3; 5; 7; 15; 28 days. The critical place of the lining is in the tunnel bench, where the ultimate bearing capacity is lower than the capacity in the vault throughout the period of shotcrete setting.

10. DEFORMATIONS OF IVB – 07-22/02 DOUBLE-TRACK TUNNEL LINING AS THE $f(t)$ FUNCTION

Monitoring is an inseparable part of the NATM. The Ultimate Bearing Capacity Method determines the critical point on the whole circumference of the tunnel by computation of s_i values and subsequently determines ultimate deformations Δx and Δy for the points selected on the lining where convergences will be measured. Deformations are computed for the whole duration of the construction, from the beginning of the shotcrete application until the hardening after 28 days. Ultimate deformations for 0.5; 0.75; 1; 3; 5; 7; 15; 28 days were computed for the metro IVB-07 Hloubětín – Černý Most double-track tunnel. The deformations depend on the sub-grade modulus of deformation, the proportion of horizontal load to vertical loading, the concrete strength and the modulus of deformation. The modulus of sub-grade deformation k_{vyp} and the proportion of side pressure p/q is considered in the computation to be constant, R_{bt} and E_{bt} are variable with time. In our case, we write the function for deformation as follows:

$$\Delta_y(t) = f\left(k_{vyp}; \frac{p}{q}; R_{bt}; E_{bt}\right). \quad (21)$$

The computation results are presented in Fig. 15. There are ultimate deformations Δy of the vault of the double-track tunnel on the IVB metro line with the track centre distance of 4405mm are presented there. In the 0.5 up to 28 day period, the ultimate deformation values vary along with the increasing strength and modulus of deformation. In this case the monitoring has to follow very thoroughly the deformations measured on the seventh day, at which the ultimate deformation of 24mm is permitted. With the increasing strength and modulus of deformation, the ultimate deformation value of 31mm is permitted on the 28th day (see Fig. 15). Determining discrete values of ultimate deformations for places being monitored on the tunnel lining is usually not carried out in structural analyses conducted using the FEM for as wide range time range as 0.5; 0.75; 1; 3; 5; 7; 15; 28 days is not usual. Values of ultimate deformations are usually presented only for the 28th day after the commencement of casting/spraying of concrete.

ních deformací pro monitorovaná místa na ostění tunelu nebývá ve statických výpočtech prováděných MKP pro tak široké časové spektrum (0,5; 0,75; 1; 3; 5; 7; 15; 28 dní) obvyklé. Hodnoty mezních deformací jsou uváděny obvykle jen pro 28. den od zahájení betonáže.

Firma K+K průzkum s.r.o. (RNDr. J. Altmann) zaznamenala zkušenost z výstavby tunelu Hřebeč (1995). Při monitorování deformací ostění bylo zjištěno, že vypočtené mezní deformace Δx a Δy stanovené metodou mezních deformací (OPM), pro pevnost betonu a modul deformace dosažených 28. den od nastříkání primárního ostění, jsou na několika místech překročeny. Když pokusy o zastavení probíhajících deformací kotvením svorníků nebyly úspěšné, pracovníci staveniště okamžitě opustili a následně došlo ke zřícení klenby. Hodnoty mezních deformací a jejich pečlivý monitoring tentokrát možná zachránil životy pracovníků.

11. ZÁVĚR

Koeficient únosnosti tunelového ostění s_i popisuje rezervy v únosnosti ostění a rovněž ukazuje místo, kde bude nejdříve dosaženo meze únosnosti. V souladu s rovnicemi (15) a (16) je kritické místo ostění tam, kde koeficient s_i je větší než 1. Praxe ukázala, že stanovení mezních deformací Δx a Δy v době tuhnutí stříkaného betonu bylo velmi užitečné, projektant nemusí stanovovat mezní deformace podle zkušenosti nebo odhadem.

Výpočet deformací terénu pro stanici metra Národní třída na trase IB (zahájení stavebních prací 1979, otevření provozu na konci roku 1985) prováděný metodou konečných prvků firmou PÚDIS stanovil pokles terénu hodnotou 40 mm a naměřený pokles byl 150 mm. Výpočet deformací terénu nad raženými díly prováděný v sedmdesátých a osmdesátých letech minulého století MKP byl velmi drahý, časově náročný a jak ukazuje příklad stanice Národní třída velmi nepřesný. Provádět výpočty MKP pro osm časových intervalů bylo v té době nerealné, a dokonce provádění jen jednoho výpočtu bylo ojedinělé.

Pro návrh tunelového ostění projektant používá s ohledem na rozsah a důležitost úkolu výpočetní metodu, která je bezpečná a ekonomická.

Ing. JAROMÍR ZLÁMAL, zlamal@pohl.cz, POHL cz, a.s.

Recenzoval *Reviewed*: doc. Dr. Ing. Jan Pruška

The company of K+K průzkum s. r. o. (RNDr. J. Altmann) registered the following experience from the construction of the Hřebeč tunnel (1995). It was found out during the monitoring of deformations of the lining that the computed ultimate deformations Δx and Δy determined using the ultimate deformations method (UDM) for concrete strength and modulus of deformation reached after 28 days after the application of the primary lining were exceeded in several places. When the attempts to stop the continuing deformations by anchoring with rock bolts failed, the construction workers immediately vacated the tunnel and the vault subsequently collapsed. The values of the ultimate deformations and the thorough monitoring may have saved lives of the workers at that time.

11. CONCLUSION

The coefficient of bearing capacity of tunnel lining s_i describes the reserves in the bearing capacity of a lining and, in addition, shows the place where the ultimate bearing capacity will be reached earliest. In accord with equations (15) and (16), the critical place in the lining is where coefficient s_i is greater than 1. The practice has shown that the determination of ultimate deformations Δx and Δy during the sprayed concrete setting period was very useful. The designer does not have to determine ultimate deformations on the basis of experience or by guessing.

The calculation of terrain deformations for Národní Třída station on metro line IB (construction operations started in 1979, the operation commenced at the end of 1985) conducted by the company of PÚDIS using the finite element method, determined the terrain settlement value of 40mm and the 150mm settlement value was measured. The computation of deformations of terrain above mined workings which was carried out using the FEM in the 1970s and 1980s was very expensive, demanding for time and, as the example of Národní Třída station shows, very inaccurate. Conducting FEM calculations for eight intervals of time was unrealistic at that time and conducting even one calculation was unique.

Taking into consideration the scope and importance of the task, the designer uses a computation method for designing tunnel linings which is safe and economic.

Ing. JAROMÍR ZLÁMAL, zlamal@pohl.cz, POHL cz, a.s.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] PANTOFLÍČEK, Jan a Václav ČINÁTL. *Ostění ze stříkaného betonu: Technické podmínky výstavby metra 06*. Praha: Odbor racionalizace a technickoekonomických informací VHI Vodní stavby, 1979.
- [2] ŠTASTNÝ, Bohumír. Zaměření výzkumu a otázky zavádění NATM na podzemních stavbách v ČSSR In: *Podzemní stavby'88*, Sborník příspěvků na celostátní symposium. Praha: Pobočka Československé vědeckotechnické společnosti národního podniku Metrostav, 1988, 214–235.
- [3] TESAŘ, Otakar. *Klasifikace skalních a poloskalních hornin pro podzemní stavby: Technické podmínky 15*. Praha: Metrostav, 1988.
- [4] ZLÁMAL, Jaromír. *Betonáž monolitického ostění: Podklad pro prováděcí projekt*. Praha: Metroprojekt, 1991. Studie.
- [5] ZAPLETAL, Aleš, Miloš BUCEK a Jiří BARTÁK. *Směrnice pro navrhování ostění budovaných NATM*. Praha, 1992.
- [6] ZAPLETAL, Aleš, Miloš BUCEK a Jiří BARTÁK. *Komentář ke směrnici pro navrhování ostění budovaných NATM*. Praha, 1992.
- [7] ČECH, Zdeněk, Vladimír MATĚJOVSKÝ, PROS3 [počítačový program]: Výpočet ostění tunelu. Praha: 1995.
- [8] BURSOVÁ, Kateřina, MARÍK, Libor. První projekt traťového tunelu metra raženého Novou rakouskou tunelovací metodou. *Tunel*. Praha: ČTA a STA ITA-AITES, 1992, **1992**(2), 4.
- [9] HRDINA, Ivan. Použití NRTM při ražbě traťového tunelu Metra. *Tunel*. Praha: ČTA a STA ITA-AITES, 1994, **1994**(2), 3.
- [10] RŮŽIČKA, Jiří, Roman FUKSA, Jiří VALEŠ a Petr ŠKUBÁNEK. Použití NRTM na stanici Hloubětín. *Tunel*. Praha: Metrostav, 1993, **1993**(3).

FOTOREPORTÁŽ Z RAŽEB TUNELU MILOCHOV – MODERNIZACE TRATI PÚCHOV – ŽILINA

PICTURE REPORT FROM THE EXCAVATION OF THE MILOCHOV TUNNEL – MODERNISATION OF PÚCHOV – ŽILINA TRACK

Objednatel: Železnice Slovenskej republiky, Bratislava
Client: Railways of the Slovak Republic, Bratislava

FOTO ARCHIV SUBTERRA A.S. PHOTO ARCHIVES OF SUBTERRA A.S.



Fig. 1 Pohled na východní portál tunelu Milochove
Fig. 1 A view of the eastern portal of Milochove tunnel



Fig. 2 Realizace základové desky hloubeného úseku – západní portál tunelu
Fig. 2 Realisation of base slab in the cut-and-cover section –western portal of the tunnel



Fig. 3 Dobírání opěří a dna ve třídě VT Vc
Fig. 3 Bench and bottom excavation, excavation support class VT Vc



Fig. 4 Ražba s členěnou kalotou ve třídě VT VI
Fig. 4 Sequential excavation of top heading, excavation support class VT VI



Fig. 5 Pohled na geologii čelby ve třídě VT Vc
Fig. 5 A view of geology at excavation face, excavation support class VT Vc



Fig. 6 Pohled do vyražené části tunelu
Fig. 6 A view down the excavated part of the tunnel

FOTOREPORTÁŽ Z VÝSTAVBY TUNELA ŽILINA

PICTURE REPORT FROM ŽILINA TUNNEL CONSTRUCTION

FOTO/PHOTO MICHAL FUČÍK, DOPRASTAV, A.S.



Obr. 1 Slávnostné požehnanie sošky sv. Barbory, patrónky tunelárov, Žilina, 5. 11. 2014

Fig. 1 Ceremonial blessing of the statuette of St. Barbara, the patron of miners, Žilina, 5th November 2014



Obr. 2 Odťahba pritlačovacieho klina čelby

Fig. 2 Removal of the face supporting wedge



Obr. 3 Slávnostná prerážka JTR 5. 12. 2016

Fig. 3 STT breakthrough ceremony, 5th December 2016



Obr. 4 Južná tunelová rúra – sekundárne ostenie

Fig. 4 Southern tunnel tube – secondary lining



Obr. 5 Pohľad do priečného prepojenia

Fig. 5 A view down the cross passage



Obr. 6 Pohľad na západný portál tunela Žilina

Fig. 6 A view of the western portal of the Žilina tunnel

GEOtest

Společnost **GEOtest, a.s.**

poskytuje široké spektrum služeb
v inženýrské geologii, geotechnice,
hydrogeologii a ekologických oborech.

Je také dodavatelem geotechnických prací
pro velké infrastrukturní projekty zahrnující
tunely a další typy podzemních staveb.

stříbrný partner konference
PODZEMNÍ STAVBY PRAHA 2019

www.geotest.cz

PRECIZNÍ A SPOLEHLIVÉ ŘEŠENÍ PRO VĚTRÁNÍ TUNELŮ

Jsmo tradiční český dodavatel komplexních služeb pro větrání tunelů. Montujeme celá zařízení a uvádíme je do provozu, zajišťujeme záruční i pozáruční servis. Prosazujeme partnerský přístup a dlouhodobou spolupráci. Spolehněte se na nás.

70

Let
zkušeností

10 000+

Vyrobených
ventilátorů

34

Zemí, kam
dodáváme



ZVVZ MACHINERY
Člen skupiny ZVVZ GROUP

WWW.ZVVZ.CZ

14. MEZINÁRODNÍ KONFERENCE / 14TH INTERNATIONAL CONFERENCE

PODZEMNÍ STAVBY PRAHA 2019 / UNDERGROUND CONSTRUCTION PRAGUE 2019

3.–5. ČERVNA 2019 | PRAHA, ČESKÁ REPUBLIKA / JUNE 3–5, 2019 | PRAGUE, CZECH REPUBLIC



PARTNEŘI / PARTNERS

Platinoví partneři / Platinum Partners



Zlatí partneři / Gold Partners



Stříbrní partneři / Silver Partners



Partner



Partner internetového koutku /
Internet Corner Partner

Partner elektronického sborníku příspěvků /
Partner of Electronic Version of Book of Abstracts



Partner posterové sekce /
Poster Session Partner

Partner navigačního systému /
Partner of Navigation System



Partner kávové přestávky /
Coffee Break Partner

Partner doprovodného kurzu /
Pre-course partner



Partner propisek a bloků /
Pens and Notepads Partner



Discover our battery and electric solution



United. Inspired.

The future is electric

We wait for no one. We want to change minds and move markets. Our zero-emission equipment brings massive savings on ventilation and creates a healthier work environment for miners everywhere.

epiroc.com

**Partner of Conference
Underground Construction
Prague 2019**



řízené protlaky www.bezvykopu.cz

- Řízené protlaky HDD v délkách až 400 m v průměrech až 800 mm
- Bezvýkopovou výstavbu vodovodů v obcích
- Bezvýkopovou výstavbu kanalizací v obcích
- Protlačení kameninových trub do DN400 mm v délkách do 70 m
- Protlaky ve skále
- Protlaky ocelových chrániček
- Renovace potrubí metodou relining do průměru 1600 mm

TALPA-RPF, s.r.o.
Holvekova 36
718 00 Ostrava-Kunčičky

talpa-rpf[®]

T. +420 596 237 019
talparpf@talparpf
www.talparpf.cz

» S NÁMI NAJDETE SVĚTLO NA KONCI TUNELU

Hlavními prioritami společnosti BASF při stavbě tunelů jsou bezpečnost a efektivita. To však vyžaduje specializovanou inženýrskou podporu, aplikační know-how a znalost nejmodernější chemie. BASF umí naplnit vaše potřeby díky našim Master Builders Solutions. Potřebujete-li řešit stabilizaci a zpevnění horninového podloží, efektivitu ražby razícím štítem TBM nebo hydroizolace, naše špičkové znalosti a zkušenosti z celého světa v oblasti stříkaného betonu, injektáží, technologie TBM a stříkaných membrán vám pomohou stavět váš tunel bezpečně a úsporně.

Více informací naleznete na www.master-builders-solutions.basf.cz



- Inženýrská geologie
- Geotechnické inženýrství a dozor staveb
- Geotechnický monitoring a terénní zkoušky
- Hydrogeologie
- Laboratorní zkoušky zemin a hornin
- Geofyzika
- Inženýrská geodézie
- Sanace svahových deformací
- Výzkum a vývoj



SG Geotechnika a.s. je s více než 90 letou tradicí, největší a nejstarší geotechnickou konzultační firmou v České republice

Partner konference
Podzemní stavby Praha 2019



Dceřiná společnost SG Geotechniky a.s., GEOFOS s. r. o., je přední slovenská geologická a geotechnická firma s dlouholetými zkušenostmi v inženýrské geologii, geotechnice, terénních měřeních, ekologii a geodézii. Svým klientům poskytuje komplexní služby v oblasti průzkumů, monitoringu, dozorů a konzultací v různých fázích plánování a výstavby silnic a dálnic, vodohospodářských staveb, tunelů a mostů, železnic a v oblasti životního prostředí.



www.geofos.sk



SG Geotechnika a.s.
Geologická 988/4
152 00 Praha 5 - Barrandov



+420 234 654 101



info@geotechnika.cz



www.geotechnika.cz



Monitoring geo-technických stavieb

Už takmer desaťročie ponúkame opto-vláknovú FBG technológiu a riešenia pre Vaše projekty.

Radi Vás stretneme na podujatí PS2019 v Prahe.

FBG technológia

- ▲ Optimálny pomer cena/kvalita/životnosť
- ▲ Dlhodobá stabilita výsledkov meraní
- ▲ Modulárnosť a škálovateľnosť systému
- ▲ Integrita signálu aj na veľké vzdialenosti
- ▲ Elektricky pasívny systém



www.sylex.sk



Chcete sa podílet na veľmi zaujímavých projektoch dopravných stavieb u největší projekční firmy v ČR? Hledáme kolegy pro projektování v České republice a Německu. V případě zájmu nás kontaktujte na tel. +420 267 094 376, p. Bukovská

Geotechnický průzkum a monitoring podzemních staveb

Inženýrskogeologické a hydrogeologické průzkumy

- liniové stavby
- inženýrské stavby
- podzemní stavby

Geotechnika a diagnostika staveb

- polní a laboratorní zkoušky
- geotechnické posudky
- stabilita svahů
- sedání podloží
- diagnostika staveb
- stavebně technické průzkumy
- pasportizace staveb

Monitoring podzemních staveb

- vedení geotechnického monitoringu
- geologické sledování a dokumentace ražeb
- bezpečnostní měření (konvergence, extenzometrie, měření napětí tenzometry)
- měření deformace povrchu a nadzemní zástavby
- měření rozvoje trhlin na objektech
- monitoring hladiny podzemní vody
- geoelektrické korozní měření



Silniční a dopravní projekty



Městské inženýrství



Vodohospodářské projekty



Podzemní stavby



Konstrukce a inženýrské stavby



Diagnostika staveb a monitoring při výstavbě



Životní prostředí



Inženýrská činnost



Geologie a geotechnika

PUDIS a.s.

Nad Vodovodem 2/3258, 100 31 Praha 10

tel.: +420 267 004 111

www.pudis.cz

e-mail: info@pudis.cz

Jako první v ČR využíváme horninový dilatometr pro měření deformačních charakteristik skalních hornin in-situ.



ZE SVĚTA PODZEMNÍCH STAVEB THE WORLD OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

MOZAIKA ZE SVĚTA PODZEMNÍCH STAVEB

■ Dvojitá prorážka tunelu na nové trati Follo Line

V čísle 1/2019 časopisu Tunel jsme v Mozaice podrobněji informovali o postupu ražeb skoro 20 km dlouhé dvojice tunelů na nové trati mezi Oslo a městem Ski. Ražby zajišťují čtyři TBM dodané firmou Herrenknecht s tím, že k prorážce dvou úseků mělo dojít koncem roku 2018.

Nyní již můžeme potvrdit, že k dvojité prorážce úseku tunelů na okraji vnitřního města Oslo došlo v předstihu proti plánu 11. září 2018. Ražba dvojice tunelů délky 9 km trvala 24 měsíců. Ražby tunelů směrem k městu Ski ještě pokračují.

■ Železniční tunel Albula II proražen

V čísle Tunelu 1/2018 jsme informovali o postupu ražby nového švýcarského tunelu Albula II délky 5680 m, který vede souběžně s původním tunelem. Do nového tunelu bude přemístěna železniční trať a starý tunel po nutné rekonstrukci a propojení s novým tunelem bude sloužit jako úniková cesta. Po třech letech ražby byl nový tunel proražen 2. října 2018 mimo jiné po úspěšném zvládnutí nepříjemné poruchové zóny, jejíž jedna část vyplněná zvodnělým dolomitickým práškem byla vyražena pod ochranou zmrazeného prstence horniny.

Dokončení nového tunelu je plánováno na konec roku 2021 a zahájení provozu následně v roce 2022.

■ Norské muzeum trhacích prací získalo cenu ITA-AITES

ITA-AITES každoročně uděluje ocenění podzemních staveb v osmi kategoriích. Ceny za rok 2018 byly uděleny v listopadu 2018 u příležitosti konání Čínské tunelářské konference. Cenu za inovativní využití podzemního prostoru získalo Norské muzeum trhacích prací ve skalních horninách. Toto muzeum bylo založeno před 25 roky a nachází se poblíž olympijského města Lillehammer. Muzeum zabývající se historií norského tunelářství a trhacích prací je mimo jiné umístěné v 240 m dlouhém půlkruhovém tunelu a je zřejmě jediným takto zaměřeným muzeem na světě.

■ Thomas Marcher nástupcem prof. Wulfa Schuberta

Jak jsme informovali v minulém čísle časopisu Tunel, prof. Wulf Schubert odstoupil k 30. 9. 2018 z pozice šéfa Institutu mechaniky hornin a tunelování TU Gratz. Jeho nástupcem se stal od 1. 10. 2018 padesátiletý Thomas Marcher, významný tunelářský odborník, který působil ve všech světadílech světa, snad s výjimkou Antarktidy. A samozřejmě působil jako expert i na nejvýznamnějších tunelových stavbách současnosti, mezi kterým nechyběly londýnský Crossrail a báзовé tunely Gotthard a Brenner. Ve svých výzkumech se přednostně zaměřil na chování horninového masivu na přechodu ze skalních hornin do zemin.

■ Náklady související se zpožděním stavby Crossrail

Britská vláda oznámila, že z revize financování stavby Crossrail vyplynulo, že náklady vyvolané opožděním zprovozněním centrální části stavby mohou dosáhnout výše 2 miliard liber. Příslušné autority jsou připraveny tyto náklady uhradit. Současná cena stavby činí 17,6 miliardy liber.

■ Podzemní knihovna v Sydney

V Sydney otevřeli podzemní knihovnu o ploše 3000 m² částečně osvětlenou denním světlem. Umístění knihovny do podzemí umožnilo vytvořit na povrchu pro obyvatele veřejný prostor o rozloze 8000 m².

■ Protipovodňové opatření v italském Janově

Velké přívalové srážky v r. 2011 způsobily zaplavení města a smrt šesti lidí. Proto město přistoupilo k vybudování 3,7 km dlouhého tunelu o průměru 5,2 m, do kterého budou šachtou hlubokou 42 m svedeny povodňové průtoky. Tunelem voda oteče přímo do moře.

Ražby byly zahájeny v roce 2015 a v současnosti se dokončuje betonové ostění tunelu, který má být uveden do provozu v první polovině roku 2019.

■ Maďarská vláda rozhodla o stavbě nových tunelů v Budapešti

Dokument, kterému předcházelo zpracování řady studií a analýz, byl zveřejněn v listopadu 2018. Mezi prioritní projekty patří tunelové propojení dvou hlavních železničních stanic – jižní stanice Déli a západní Nyugati. Obě stanice jsou od sebe vzdálené 3 km. Stanice Déli bude přemístěna do podzemí a uvolní tak prostor na povrchu pro městskou zástavbu.

Dalším prioritním projektem je stavba trasy metra č. 5, která překříží Budapešť ze severu na jih a připojí výše položené části města.

Pomoc při financování obou projektů bude Budapešť žádat od Evropské unie na období 2021 až 2027.

■ Automobilový tunel v Seatlu dokončen

Stavba automobilového tunelu v Seatlu byla provázena řadou obtíží a mimořádnými událostmi. Všechny ale byly překonány a začátkem roku 2019 by měl být tunel uveden do provozu, což následně umožní demolici dvoupatrové estakády, která odděluje centrum města od nábřeží a přístavu. Současně bude přiléhající zástavba osvobozena od hlukové zátěže generované automobilovou dopravou na estakádě.

Ing. MILOSLAV NOVOTNÝ,
mila_novotny@volny.cz

NA SHROMÁŽDĚNÍ DELEGÁTŮ ČKAIT BYLA UDÍLENA ČESTNÁ ČLENSTVÍ A VYHLÁŠENY CENY INŽENÝRSKÉ KOMORY ZA ROK 2018

Dne 30. 3. 2019 se v hotelu Pyramida konalo shromáždění delegátů ČKAIT, na němž byla nejprve udělena čestná členství oceňující výrazné osobnosti české inženýrské společnosti. Čestné členství bylo uděleno i **prof. Ing. Jiřímu Bartákovi, DrSc.**, a to za celoživotní přínos české inženýrské společnosti nejen v oblasti geotechniky a podzemního stavitelství.

V rámci XV. ročníku Ceny Inženýrské komory byla vyznamenána společnost INGUTIS, spol. s r.o., za projekt stavby č. 8615 „Kolektor Hlávkův most“.

Myšlenka stavby tohoto kolektoru vznikla již na přelomu tisíciletí, kdy začala být plánována rekonstrukce Hlávkova mostu s ohledem na jeho technický stav.

Od provedení první studie vypracované firmou INGUTIS, spol. s r.o., až po kolaudaci stavby uplynulo téměř 14 let. I na tomto kolektoru je třeba připomenout zásluhy známých osobností jako Ing. Jana Sochůrka, Ing. Františka Dvořáka a Jiřího Středy, kteří se významným způsobem podíleli na rozvoji celé pražské kolektorové sítě.

Kolektor Hlávkův most představuje technicky velmi složitou stavbu, která navíc prochází poměrně komplikovanými geologickými podmínkami hluboko pod Vltavou. Jedná se o soubor navzájem propojených objektů, které spolu tvoří jeden funkční celek, který rozšířil a propojil stávající kolektorovou síť v Praze.

Společně se zhotovitelem stavby (sdružením Hochtief a.s. a Subterra a.s.) se podařilo na stavbě kolektoru Hlávkův most použít neobvyklé technologie doposud na kolektorech nepoužívané.

Bez vzájemné spolupráce, pochopení a velkého osobního nasazení všech účastníků výstavby by tato stavba nevznikla v takové kvalitě. Stavba Kolektoru Hlávkův most a zkušenosti z ní získané se tak mohou stát novým směrem, jakým se bude ubírat nejen výstavba kolektorů v Praze, ale obecně výstavba podzemních děl malých profilů v ČR.

Ing. DANIEL ŠVEC,
svec@ingutis.cz, INGUTIS, spol. s r.o.



Obr. 1 Kolektor Hlávkův most

Fig. 1 Hlávkův Bridge utility tunnel construction

ZPRÁVY Z TUNELÁŘSKÝCH KONFERENCÍ NEWS FROM TUNNELLING CONFERENCES

MEZINÁRODNÍ SEMINÁŘ ZPEVNĚNÍ, TĚSNĚNÍ A KOTVENÍ HORNINOVÉHO MASIVU A STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ 2019 V OSTRAVĚ INTERNATIONAL SEMINAR ON REINFORCING, SEALING AND ANCHORING OF GROUND MASS AND CIVIL ENGINEERING STRUCTURES 2019 IN OSTRAVA

The 24th annual traditional seminar Reinforcing, Sealing and Anchoring of ground mass and civil engineering structures 2019 was held on premises of the VŠB Technical University of Ostrava on 14th – 15th February 2019. It was organised by the Faculty of Civil Engineering of the VSB-TUO and Minova Bohemia s.r.o. This year's seminar was attended by over 100 professionals from firms, university workplaces and research organisations from the Czech Republic and abroad. The total of 26 papers focused on the fields of geotechnical engineering and underground construction engineering, as well as mine construction engineering were presented within the framework of the seminar.

Ve dnech 14.–15. 2. 2019 se konal v prostorách VŠB-Technické univerzity Ostrava již 24. ročník tradičního semináře Zpevnění, těsnění a kotvení horninového masivu a stavebních konstrukcí 2019, organizovaného ve spolupráci Fakulty stavební VŠB-TUO a firmy Minova Bohemia s.r.o. Letošního ročníku semináře se účastnilo přes 100 odborníků z firem, univerzitních pracovišť a výzkumných organizací z České republiky i ze zahraničí. V rámci semináře zaznělo 26 příspěvků zaměřených jak na oblasti geotechniky a podzemního stavitelství, tak i na hornické stavitelství.

Pracovníci firmy Metrostav a.s. prezentovali ve svých příspěvcích problematiku definitivního zajištění propojky na tunelu Ejpovice s využitím stříkaného drátkobetonu a dále velmi zajímavý příspěvek týkající se ražby stanice Espoonlahti a k ní příslušejících traťových tunelů metra na prodloužení stávající trasy metra z Helsinek do města Espoo ve Finsku. Příspěvek popisoval získané zkušenosti a řešení zastižených problémů zejména s ohledem na specifika provádění ražeb v žulových horninách v husté rezidenční zástavbě, vyplývající nutnost minimalizace účinků trhacích prací na okolní zástavbu a provádění předstihových a následných injektážních prací. Ing. Velička z firmy Subterra a.s. přednesl příspěvek shrnující dosavadní zkušenosti

z realizace tunelu Milochov na Slovensku, a to především s ohledem na změny realizace stavby v souladu se skutečně zastiženými geologickými podmínkami (zejména dodatečné zajištění předpolí ražby tryskovou injektáží a změnu vystrojovací třídy v počátečním úseku ražby). Kolektiv firmy Minova Bohemia s.r.o. představil ve svém příspěvku některé aktuální trendy v technologiích podzemního stavitelství – tenké stříkané membrány řady TekFlex, injekční zavrtávací systém SDIL s integrovaným injekčním obturátorem umožňující vysokotlakovou injektáž a IBO horninové svorníky se zvýšenou poddajností určené pro prostředí vysokých tlaků a prostředí s rizikem dynamických účinků.

Zástupce australské firmy GroundProbe představil ve svém příspěvku inovativní zařízení pro efektivní monitoring konvergencí založené na LIDAR (Light Detection and Ranging) technologii.

Ing. Franczyk prezentoval ve svém příspěvku praktické zkušenosti se zpevněním okolního prostředí při realizaci štol malého průřezu mikrotunelováním.

Problematické zvyšování spolehlivosti těsnících opatření stavebních jam a podloží malých vodních elektráren se věnoval příspěvek prof. Hully ze Slovenské technické univerzity v Bratislavě. Kolektiv autorů z firmy Minova Bohemia s.r.o. dokumentoval možnosti využití nově vyvinutých vylepšených optimalizovaných chemických injektážních hmot na příkladu sanace průsaků hráze vodního díla. Příspěvek Ing. Grossmanna s názvem „Dokumentace provádění injekčních prací – pomocník, nebo nutné zlo?“ poukázal na přínos provádění dokumentace okolností, průběhu a výsledku injekčních prací pro jejich realizátora i samotného investora.

Účastníky semináře určitě zaujala i přednáška zástupce firmy STRIX Chomutov a.s. o aplikacích bezpilotních systémů (dronů) při monitorování vývěrů podzemní vody, pasportizaci svahů a skalních útvarů a ke sběru dat pro výpočet objemu sanované horniny. Společně s firmou SG-Geoinženýring s.r.o. a firmou

ČEZ a.s. připravili pracovníci této firmy rovněž prezentaci o zabezpečení stability břehového pásma přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé Stráně.

Příspěvky připravené ve spolupráci firmy MATTEO s.r.o. a firmy Minova Bohemia s.r.o. ukázaly na reálných stavbách jednak efektivní možnosti aplikace trvalého kotvení svahů a objektů a rovněž dočasného zajištění násypů a výkopů s využitím kombinace larsenových stěn a dočasných tyčových kotev a táhel.

Zajímavým příspěvkem, prezentujícím komplexní statické zajištění a rekonstrukci stavebních částí červeného Zámku v Hradci nad Moravicí zahrnující mikropilotové podchytení, plošnou cementovou a chemickou injektáž, kotvení samozávrtnými kotevními tyčemi a aplikaci celozávrtových kotevních tyčí při respektování specifik historického komplexu budov, byl příspěvek Ing. Sukeníka (Minova Bohemia s.r.o.).

Problematika hornického stavitelství byla na semináři zastoupena několika příspěvky českých i zahraničních autorů. V úvodu semináře zazněl příspěvek autorů z ČBÚ Praha, který byl věnován mimořádným událostem a úrazům, které mohou vznikat při hornické činnosti a činnosti prováděné hornickým způsobem. Kolektivy autorů z firmy OKD a.s. a Minova Bohemia s.r.o. představily dva příspěvky. V prvním z nich se autoři věnují problematice ražby důlní chodby, kde bylo pro dlouhodobou stabilizaci využito svorníkování, vysoké kotvení i injektážní kotvy. Druhý příspěvek zástupců výše uvedených firem byl zaměřen na zajímavou možnost využití nového produktu ADIBET – PM (jednosložková hydraulická prefabrikovaná napěňující směs na bázi cementu s těsnicím účinkem) při sanaci potrubí ve výdušné jámě OKD v lokalitě Chlebovice před její likvidací. Společně se zástupcem firmy GEOFINAL a.s. pak obě dříve zmíněné firmy představily novou mobilní vrtací a svorníkovací technologii ANDRIBOT – prezentovaná důlní souprava je vhodná především v důlních dílech malých rozměrů, nevyžaduje přikotvení k důl-

ní ocelové obloukové výztuži, vysoký krouticí moment a přítlak umožňují provrtávat rozrušené vrstvy hornin bez ztráty soutyčí. Zkušenosti s chováním svorníkové výztuže stropu a boků stěn ponechaných pilířů při zkušebním provozu modifikované metody komora-pilíř na Dole ČSM byly na semináři prezentovány kolegy z Ústavu geoniky AV ČR v Ostravě. Zástupce firmy Epiroc ze Švédska prezentoval využití injektážních pryskyřic v kombinaci se zavrtávacími svorníky v obtížných podmínkách hlubinného rudného hornictví. Ing. Polus z Polska pak ve svém příspěvku informoval o možnostech využití mřížoviny ze skelných vláken v hornickém i podzemním stavitelství. Kolektiv autorů VŠB-TUO a firmy Minova Bohemia s.r.o. připravil pro účastníky semináře příspěvek zabývající se dimenzováním protivýbuchových důlních hrází budovaných z materiálu ADIBET TP-T9, který umožňuje operativnější výstavbu důlních hrází ve srovnání se standardně používanými materiály.

Kolegové z Fakulty stavební Slezské Politechniky v Gliwicích připravili několik velmi zajímavých příspěvků z oblasti využití nedestruktivní metody analýzy stavu povrchu vozovky, využití zpevňující sítě ze skelných vláken a dále materiálu ze směsi betonu, popílku a prachu z recyklovaných pneumatik v dopravním stavitelství. Byly rovněž prezentovány výsledky výzkumu tohoto univerzitního pracoviště získané ve spolupráci s Ing. Polusem týkající se vlastností směsi betonu, skelných vláken a zeolitu.

I tento ročník semináře prokázal význam takovýchto odborných setkání a organizátoři věří, že se zájem o problematiku zpevňování, těsnění a kotvení horninového masivu a stavebních konstrukcí potvrdí i v rámci příštího 25. ročníku tohoto semináře, na který jste již dnes všichni srdečně zváni.

*doc. RNDr. EVA HRUBEŠOVÁ, Ph.D.,
eva.hrubesova@vsh.cz,
Fakulta stavební VŠB-TU Ostrava*

ŽELEZNIČNÍ MOSTY A TUNELY 2019 RAILWAY BRIDGES AND TUNNELS 2019

The 24th annual conference Railway Bridges and Tunnels was held in the conference hall of Olsanka Hotel on 17th January 2019. Even though this conference does not belong among the most important events of the year from the point of view of the underground construction industry, it has become for the long years of organising it a traditional place of meetings of professionals in the field of tunnel construction projects.

Dne 17. ledna 2019 se v kongresovém sálu hotelu Olšanka konal již 24. ročník konference Železniční mosty a tunely. Stejně jako v předchozích ročnících byla i letos konference rozdělena do třech bloků, kde I. a III. blok byl věnován mostům a II. blok se zabýval tunely. Ve II. tunelářském bloku bylo prezentováno celkem pět odborných přednášek.

První přednášku si připravil pan Ing. Jiří Velebil ze spol. SUDOP PRAHA a.s., který posluchačům představil projekt Rekonstrukce nelahozevských tunelů, v současnosti zpracováváný ve stupni DUR.

Ve druhé přednášce se Ing. Pavel Růžička ze spol. HOCHTIEF CZ a.s. s posluchači podělil o zahraniční zkušenosti ze stavební praxe nabyté v Německu při realizaci tunelu Bad Cannstatt v rámci stavby Stuttgart 21.

Ve třetí přednášce hovořil pan Ing. Milan Majer ze SŽDC, s.o. o zkušenostech investora z realizace tunelu Ejpvovice, na kterou navázal pan Ing. Štefan Ivor ze spol. Metrostav a.s. čtvrtou přednáškou o zkušenostech z ražeb tunelů Ejpvovice pomocí technologie TBM.

Tunelářský blok společně zakončili Ing. Marcel Poštek a Ing. Tomáš Zítka ze spol. SUDOP PRAHA a.s. přednáškou na téma Návrh železničních tunelů v jílech. V přednášce nejprve stručně popsali základní principy a zásady konvenční metody „SCL“ a poté představili návrh ražených tunelů na stavbě Brno – Přerov, navržené v souladu s touto, v našem regionu zatím nepoužitou, metodou.

Ačkoli tato konference nepatří z hlediska podzemního stavitelství k nejvýznamnějším událostem roku, za dlouhá léta pořádání se již stala tradičním místem setkávání milovníků železnice z řad správců, investorů, projektantů a stavitelů, kteří tak mají možnost předat si své odborné zkušenosti získané v oblasti železničních mostů a tunelů.

*Ing. TOMÁŠ ZÍTKO, CEng
MICE, EUR ING
SUDOP PRAHA a.s.*

AKTUALITY Z PODZEMNÍCH STAVEB V ČESKÉ A SLOVENSKÉ REPUBLICCE CURRENT NEWS FROM THE CZECH AND SLOVAK UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

ČESKÁ REPUBLIKA

MEZNO A DEBOŘEČ – NOVÉ ŽELEZNIČNÍ TUNELY NA IV. ŽELEZNIČNÍM KORIDORU

V rámci stavby „Modernizace trati Sudoměřice – Votice“ se budují dva nové železniční tunely. Investorem stavby je Správa železniční dopravní cesty, s.o. a zhotovitelem stavby společnost OHL ŽS, a.s.

Tunel Mežno

Tunel Mežno je ražený železniční dvoukolejný tunel celkové délky 840 m, z toho ražená část tvoří 768 m, navazující hloubená část u vjezdového portálu má délku 48 m a u výjezdového portálu 24 m.

Aktuálně jsou dokončovány objekty a provozní soubory pro zajištění stávajících vodních zdrojů, které je nutné zrealizovat před zahájením prací na tunelu. Předpokládáné zahájení prací na tunelu Mežno je v 1. polovině roku 2019.

Tunel Deboreč

Tunel Deboreč je ražený železniční dvoukolejný tunel celkové délky 660 m, z toho ražená část tvoří 562 m a navazující hloubené části u obou portálů mají délku 49 m.

Aktuálně probíhá ražba tunelu z výjezdového (severního) portálu. Úvodní metry ražby probíhají v těžkých geologických podmínkách. Zastiženy byly zvětralé až zcela zvětralé parafyly pevnostní třídy R4 až R5 (místy až R6), hornina je silně rozpukaná, směr sklonu foliace je cca 270°, sklon cca 40°. Hornina má z hlediska ražby nepříznivý úklon vrstev úpadně ven z čelby. V těchto podmínkách je aplikována navržená vystrojovací třída 5b1 s horizontálním členěním výrubu na kalotu, jádro a protiklenbu. Stabilita přístropí je zajišťována mikropilotovými deštníky délky 12 m vrtnými z tunelu a systémovými zpevňujícími injektážemi. Primární ostění je tvořeno stříkaným betonem tl. 400 mm se dvěma vrstvami KARI sítě 150×150/8×8 mm, dále radiálními kotvami IBO R 32 délky 6 m. Délka záběru v kalotě je 0,9 m. K 20. 3. 2019 bylo vyraženo 32 tunelmetrů v kalotě, 20 v jádře a 19 m protiklenby.

Ing. TOMÁŠ JUST,
tjust@ohlzs.cz, OHL ŽS, a.s.



Obr. 1 Tunel Deboreč
Fig. 1 Deboreč tunnel

THE CZECH REPUBLIC

MEZNO AND DEBOŘEČ – NEW RAILWAY TUNNELS ON RAILWAY CORRIDOR IV

Two new railway tunnels are under construction within the framework of the project titled “Modernisation of Sudoměřice – Votice railway track”. The Railway Infrastructure Administration, state organisation, is the project owner and OHL ŽS, a.s. is the contractor.

Mežno tunnel

The Mežno tunnel is a mined double-track railway tunnel with the total length of 840m. The mined part of the tunnel is 768m long, and the cut-and-cover parts at the entrance portal and the exit portal are 48m and 24m long, respectively.

Construction objects and operating units for securing the existing water resources, the realisation of which has to be finished before the commencement of the work on the tunnel, are currently being completed. The commencement of the work on the Mežno tunnel is planned for the 1st half of 2019.

Deboreč tunnel

The Deboreč tunnel is a mined double-track railway tunnel with the total length of 660m. The mined part of the tunnel is 562m long, and the cut-and-cover parts at both portals are 49m in total.

The tunnel excavation from the exit (northern) portal is currently underway. The initial metres of the excavation proceed under difficult geological conditions. Weathered to completely weathered paragneiss, strength classes R4 up to R5 (locally even R6), was encountered; the rock mass is heavily fractured, the foliation trend is ca 270°, dipping ca 40°. The dip of the layers is unfavourable for the excavation, downhill from the excavation face. In those conditions, 5b1 excavation support class is designed, with a horizontal excavation sequence comprising top heading, bench and invert. Stability of the top heading is provided by 12m long canopy tube pre-support installed from within the tunnel, and a system of reinforcing grouting. The primary lining is formed by 400mm thick shotcrete with two layers of KARI 150×150/8×8mm welded mesh and 6m long IBO R 32 radial anchors. The excavation rounds in the top heading are 0.9m long. As of 20th March 2019, 32 tunnelmetres were excavated in top heading, 20 metres in bench and 19m in invert.

Ing. TOMÁŠ JUST,
tjust@ohlzs.cz, OHL ŽS, a.s.

THE SLOVAK REPUBLIC

TUNNELS ON MOTORWAY NETWORK

Ovciarsko and Zilina tunnels

There are two double-tube motorway tunnels in the 13.2km long Hricovské Podhradie – Lietavska Lucka section of the D1 motorway: the Ovciarsko and the Zilina. The Consortium formed by the companies of Doprastav, a.s., Strabag, s.r.o., Váhostav – SK a.s., and Metrostav, a.s. is the contractor.

The 2367m long Ovciarsko tunnel excavation started on 12th September 2014.

SLOVENSKÁ REPUBLIKA

TUNELY NA DIAĽNIČNEJ SIETI

Tunely Ovčiarisko a Žilina

Na úseku D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka s dĺžkou 13,2 km sa nachádzajú dva diaľničné dvojrúrové tunely: Ovčiarisko a Žilina. Zhotoviteľom stavby je Združenie spoločností Doprastav, a.s., Strabag, s.r.o., Váhostav – SK a.s., Metrostav, a.s.

Tunel Ovčiarisko s dĺžkou 2 367 m sa začal raziť 12. 9. 2014.

Samotná výstavba tunela Ovčiarisko sa začala v roku 1996 razením prieskumnej štôľne. Prieskumná štôľňa tunela bola prerazená v 04/1998. Slávnostné začatie výstavby úseku diaľnice Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka sa uskutočnilo 20. februára 2014; začatie razenia tunela sa uskutočnilo v 09/2014 v náročnom geologickom prostredí. Zaujímavou informáciou je fakt, že tunel sa dočkal prerazenia po 18 rokoch, keď bola prerazená jeho prieskumná štôľňa.

Tunel Ovčiarisko je 2 367 m dlhý dvojrúrový tunel budovaný v rámci stavby D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka (obr. 2). Staví sa v plnom profile v kategórii 2T-8,0/100 s prejazdovou výškou 4,80 m. Šírka vozovky medzi obrubníkmi je 7 m, ohraničená betónovým obrubníkom na jednej strane a štrbinovým žlabom na druhej strane. Šírka chodníkov po oboch stranách vozovky je 1 m. Od západného portálu sa razilo do vrchu so sklonom v severnej tunelovej rúre 1,68 % a v južnej tunelovej rúre 1,70 %. Tunely sa razili metódou NRTM (Nová rakúska tunelovacia metóda). V každom tuneli sú 3 núdzové zálivy a 16 SOS kabín. Medzi tunelmi je 8 priečných prepojení (3 prejazdné a 5 priechodných). V predportálových úsekoch je povrch vozovky asfaltobetónový. Konštrukciu vozovky tvorí ochranná vrstva štrkodrvy hrúbky min. 270 mm, podkladná vrstva CBGM hrúbky 180 mm a cementobetónový kryt vozovky hrúbky 250 mm.

Pre tunel Ovčiarisko bolo vyprojektovaných celkovo 13 typov primárneho vystrojenia. Vystrojovacie triedy (VT) navrhol projektant tunela v zmysle TP 021. Spôsob výstavby závisel od výsledkov hodnotenia inžinierskogeologickej dokumentácie výrubu.

V súčasnosti prebiehajú dokončovacie práce na technológii tunela, asfaltových zálievkach na chodníkoch, nátery ostenia a vrcholu klenby tunela. Ide o práce, ktoré sú závislé od vhodných poveternostných podmienok.

Dobudovaním diaľnice D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka sa vytvoria podmienky k odľahčeniu dopravy na cestách I/18 a I/64, čo výrazne prispeje k zníženiu negatívnych vplyvov dopravy na životné prostredie v meste Žilina a obci Lietavská Lúčka. V porovnaní

The Ovciarisko tunnel excavation itself commenced in 1996 by driving the exploratory gallery. The gallery was broken through in August 1998. The celebration of the commencement of the Hricovske Podhradie – Lietavska Lucka section of the construction of the D1 motorway was held on 20th February 2014; the tunnel excavation passing through a difficult geological environment started in September 2014. The information that the tunnel was broken through after 18 years, when its exploratory gallery had been broken through, is certainly interesting.

The Ovciarisko tunnel is a 2367m long double-tube tunnel constructed within the framework of the Hricovske Podhradie – Lietavska Lucka section of the D1 motorway (see Fig. 2). It is being driven full-face, in 2T-8.0/100 category with the clearance profile height of 4.80m. The kerb-to-kerb roadway width amounts to 7m. The roadway is bounded by concrete kerbs on one side and slotted drain troughs on the other. The walkways on both sides are 1m wide. The tunnel was driven uphill from the western portal, at an angle of 1.68% in the northern tunnel tube and 1.70% in the southern tube. The tunnels were driven using the NATM (the New Austrian Tunnelling Method). There are 3 emergency lay-bys and 16 emergency call cabins in each tunnel. Eight cross passages are between the tunnel tubes (3 passable for vehicles, 5 passable for persons). In the pre-portal sections, there is an asphaltic concrete roadway surface. The roadway structure consists of a min. 270mm thick protective gravel-sand layer, a cement-bound mixture sub-base 180mm thick and a 250mm thick concrete top layer.

Regarding the Ovciarisko tunnel, 13 types of primary support in total were designed for the excavation. The excavation support classes were proposed by the tunnel designer in the meaning of the technical specification TP 021. The construction procedure depended on results of the assessment of the engineering geological documentation of the excavation.

At present, finishing work on the tunnel equipment, filling of joints in walkways with asphalt, coating of tunnel linings and the upper vault are underway. Those work operations depend on suitable weather conditions.

Conditions for significant decongestion of traffic on the I/18 and I/64 roads will be created by the completion of the construction of the Hricovske Podhradie – Lietavska Lucka section of the D1 motorway. It will significantly contribute to the reduction in negative impacts of traffic on the environment in the town of Zilina and the municipality of Lietavska Lucka. In comparison with the existing state, this motorway section will have more socio-economic effects, first of all reduction in travel time by 15 minutes. Even the

quality of other conditions for traffic will be increased: fluency, transport speed and traffic safety will grow. At last but not least, the motorway will have significant influence on the future development of the region.

The Zilina tunnel is a 687m long double-tube motorway tunnel. The tunnel excavation started in July 2014.

Construction work on the Zilina tunnel objects has currently been slowly ending. During the course of the whole construction, the contractor had to solve unfavourable circumstances in the form of extremely difficult engineering geological conditions issuing in the origination of two extraordinary events – excavation collapses in



Obr. 2 Tunel Ovčiarisko – pohľad na tunelové rúry zo západného portálu
Fig. 2 Ovciarisko tunnel – tunnel tubes viewed from the western portal

s existujúcim stavom bude mať tento diaľničný úsek viaceré socio-ekonomické efekty, predovšetkým v skrátení času jazdy o 15 minút. Skvalitnia sa i ďalšie podmienky pre dopravu; zvýši sa plynulosť, rýchlosť a bezpečnosť premávky. V neposlednom rade bude mať diaľnica aj veľký vplyv na ďalší rozvoj regiónu.

Tunel Žilina je 687 m dlhý dvojrúrový diaľničný tunel, ktorý sa začal raziť v júli 2014.

V súčasnosti sa práce na stavebných objektoch tunela Žilina pomaly končia. Počas celej výstavby musel zhotoviteľ tunela riešiť nepriaznivé okolnosti v podobe extrémne náročných inžiniersko-geologických podmienok, ktoré vyústili do vzniku dvoch mimo-riadnych udalostí – závalov v 01/2015 a v 11/2015. V dôsledku týchto udalostí boli raziace práce na tuneli na niekoľko mesiacov prerušené, a aj napriek tomu, že sa pristúpilo k razeniu tunela z oboch portálov, bol tunel prerazený až v 01/2017, teda po 731 dňoch od začatia prác.

Aj realizácia sekundárneho ostenia bola ovplyvnená zmenami vystrojovacích tried tunela, čo sa prejavilo vo vyššej spotrebe výstuže a betónu na realizáciu tzv. ťažkých blokov, ktoré boli navrhnuté v oblasti s mikropilóťovými dáždnikmi. Adekvátne k tomu sa predĺžil aj čas na realizáciu jednotlivých blokov sekundárneho ostenia; betonáž každej tunelovej rúry trvala zhruba štyri mesiace.

Po dobetónovaní sekundárneho ostenia pokračovali práce jednak vo vnútri tunelových rúr, a takisto aj na portáloch tunela. Postup prác, ako aj ich časová následnosť boli zvolené takým spôsobom, aby sa nenarušil harmonogram výstavby cementobetónovej vozovky v tuneli. Aj práce na portálových plochách tunela boli organizované so zámerom, aby nezdržovali plánované kladenie cementobetónovej vozovky.

Betonáž cementobetónovej vozovky v tuneli Žilina sa realizovala v období 06/2018 a v oboch tunelových rúrach trvala spolu 8 dní, pričom bolo zabudovaných 3 603 m³ betónu.

Definitívne úpravy portálov tunela Žilina sú riešené pri oboch tunelových rúrach pomocou stabilizačných vystužených násypov s gabionovým obkladom. Tieto práce vrátane konečných terénnych úprav a zahumšovania sú taktiež v štádiu dokončovania.

V súčasnosti prebiehajú dokončovacie práce na realizácii technologického zariadenia, kompletizácii káblovodov, ukladanie zákrytových dosiek a príprava na finálnu asfaltovú vrstvu chodníkov. Väčšina technologického zariadenia už je namontovaná, pokračuje dopájanie káblových rozvodov a postupné spúšťanie osvetlenia, núdzových osvetlení a technologického vybavenia SOS kabín. Po uložení všetkých káblov sa realizuje pokládka zákrytových prefa dosiek, ich obetónovanie, dotmelenie škár a príprava na vrstvu z liateho asfaltu.

Tunel Čebrať

Súčasťou diaľničného úseku D1 Hubová – Ivachnová je dvojrúrový tunel Čebrať (1994 m).

V uplynulých mesiacoch boli diagnostikované rozsiahle problémy so stabilitou územia na západnom portáli tunela Čebrať a nadväzujúcom úseku diaľnice, ktoré si vyžadujú rozsiahle zmeny v technickom riešení, ktoré musia byť posúdené v procese EIA a následne povolené v zmysle stavebného zákona. Z tohto dôvodu sú aj v súčasnosti (marec 2019) ešte stále práce na tomto tuneli pozastavené a realizuje sa len projekt geologickej úlohy.

Zhotoviteľom stavby je združenie spoločností OHL ŽS, a.s., a Váhostav – SK, a.s.

Tunel Višňové

Najdlhším slovenským diaľničným tunelom má byť tunel Višňové s dĺžkou 7,5 km, ktorý je súčasťou úseku diaľnice D1 Lietavská

January 2015 and in November 2015. As a result of those events, the tunnelling operations were suspended for several months and, despite the fact that the contractor proceeded to excavate the tunnel from both portals, the tunnel was broken through as late as January 2017, 731 days after the work commencement.

Even the construction of the secondary lining was influenced by changes in the excavation support classes, which fact manifested itself in higher consumption of concrete reinforcement and concrete required for the realisation of the so-called “heavy blocks”, which were designed for the area provided with canopy tube pre-support. The time required for the realisation of individual secondary lining blocks was also adequately extended. Concreting of each tunnel tube took roughly four months.

After the completion of concreting the secondary lining, the work continued inside the tunnel tubes and at the tunnel portals. The progress of work operations and their time sequence were chosen taking into consideration the fact that disrupting the works schedule for concreting the roadway in the tunnel was forbidden. Even the work on the pre-portal surfaces was organised with the intention not to delay the planned placing of the concrete pavement.

The work on the concrete roadway pavement in the Žilina tunnel was carried out in both tunnel tubes in June 2018 and lasted together 8 days; 3603m³ of concrete were placed.

The final work at the Žilina tunnel portals of both tunnel tubes are solved by reinforced stabilisation embankments with gabion cladding. This work, including terrain finishes and soiling, is also at the finishing stage.

The finishing work on the installation of tunnel equipment, completing the cableways, placing cover plates and preparation for casting the final asphalt layer on walkways are currently underway. The installation of the majority of technology equipment is already finished and the work on final connections of cables proceeds, as well as step-by-step starting of tunnel illumination, emergency lighting and technical equipment of emergency call cabins. After all cables are laid, pre-cast cover plates are placed and encased in concrete, joints are filled with a sealant and pouring of mastic asphalt layer is being prepared.

Cebrať tunnel

The double-tube Cebrať tunnel (1994m long) is part of the Hubová – Ivachnová section of the D1 motorway.

Extensive problems with the stability of the area at the western portal of the Cebrať tunnel and the following section of the motorway were diagnosed in recent months. They require extensive changes in the technical solution. They have to be assessed in the EIA process and subsequently be permitted in the meaning of the Building Code. This is the reason why the work on this tunnel is still suspended and only the geological task project is being realised.

The construction work is being realised by a consortium formed by OHL ŽS, a.s., and Váhostav – SK, a.s.

Visnove tunnel

The 7.5km long Visnove tunnel is to be the longest Slovak motorway tunnel. It is part of the Lietavska Lucka – Visnove – Dubna Skala section of the D1 motorway running south of the regional capital Žilina. The consortium formed by Salini Impregilo S.p.A and Duha, a. s. is the contractor for the motorway section on the basis of a contract signed by Narodna diaľnicna spoločnosť (National Motorway Society) on 11th June 2014.

Both Visnove tunnel tubes were broken through in August 2018, after 40 months of tunnel excavation. The secondary concrete lining has been finished along more than 60% of the tunnel length.



Obr. 3 Tunel Prešov – východný portál
Fig. 3 Presov tunnel – eastern portal

Lúčka – Višňové – Dubná Skala, ktorý je vedený južne od krajského mesta Žilina. Zhotoviteľom diaľničného úseku je združenie firiem Salini Impregilo S.p.A a Dúha, a.s. na základe zmluvy podpísanej s Národnou diaľničnou spoločnosťou 11. júna 2014.

Obe rúry tunela Višňové boli prerazené v auguste 2018, po 40 mesiacoch razenia. Betonáž sekundárneho ostenia je hotová na viac ako 60 % dĺžky tunela.

Komplikovaná finančná situácia, v ktorej sa ocitol zhotoviteľ po takmer piatich rokoch výstavby diaľničného úseku, a ktorá negatívne ovplyvňovala postup stavebných prác, rezultovala v marci 2019 dohodou o ukončení prác. Táto dohoda medzi objednávatelom, Národnou diaľničnou spoločnosťou a zhotoviteľom, združením Salini Impregilo – Dúha, bola schválená aj Vládou SR dňa 6. marca 2019. Týmto sú práce na diaľnično úseku ako aj v samotnom tuneli Višňové pozastavené, a prebieha ich inventarizácia. Pokračovanie prác sa preto dá očakávať až po prevzatí stavby objednávatelom a úspešnom zvládnutí procesu verejného obstarávania, ktorého výsledkom bude zmluva s novým zhotoviteľom. Odhadovaný termín možného ukončenia prác je najskôr v roku 2023.

Tunel Prešov

Tunel Prešov je diaľničný tunel vo výstavbe na Slovensku a nachádza sa na úseku diaľnice D1 Prešov západ – Prešov juh. Trasa tunelovej časti juhozápadného obchvatu Prešova bude tvorená dvoma nezávislými tunelovými rúrami, STR bude dĺžky 2 230,50 m

The complicated financial situation in which the contractor found itself after nearly five years of constructing the motorway section and which negatively influenced the progress of construction operations, resulted in March 2019 in an agreement on conclusion of the work. This agreement between the project owner, the National Motorway Society, and the Salini Impregilo – Duha consortium was also approved by the Government of the SR on 6th March 2019. The work on the motorway section and work in the Visnove tunnel itself has been suspended and an inventory of the work is being conducted. The continuation of the work can be expected after the works are taken over by the project owner and the public procurement process is successfully brought off, ending by conclusion of a contract with the new contractor. The possible end of the works is estimated for 2023.

Presov tunnel

The tunnel Presov is a motorway tunnel under construction in Slovakia. It is located on Presov West – Presov South section of the D1 motorway. The route of the tunnelled part of the south west by-pass will be formed by two independent tunnel tubes, the 2230.50m long NTT and the 2244.00m long STT. The two tunnel tubes are driven from both portals, with the headings proceeding against each other.

Driving the tunnel from the eastern portal (see Fig. 3) commenced on 1st August 2018 in the NTT and on 23rd August in the STT. The horizontal excavation sequence comprises top heading, bench and bottom. Rock is disintegrated partially mechanically and partially using the Drill&Blast method.

As of 22nd March 2019, 1724m of the excavation, including two emergency lay-bys (930m in NTT; 794m in STT), was finished from the eastern side of the Presov tunnel. The excavation proceeding from the eastern portal encountered mostly sandstone with thin layers of claystone. The rock mass quality allows for the excavation rounds 1.7m long. The excavation from the eastern portal proceeds on an uphill gradient of 2.8%. During the excavation from the eastern portal, even two cross passages were broken through.

The excavation from the western portal (see Fig. 4) also started on



Obr. 4 Tunel Prešov – západný portál
Fig. 4 Presov tunnel – western portal

a JTR bude dĺžky 2 244,00 m. Razenie oboch rúr prebieha proti sebe z oboch portálov.

Razenie z východného portálu (obr. 3) sa začalo dňa 1. 8. 2018 v STR a dňa 23. 8. 2018 sa začalo s razením v JTR. Čelba je členená horizontálne na kalotu, stupeň a dno. Rozpájanie prebieha sčasti mechanicky, sčasti s použitím trhacích prác.

K 22. 3. 2019 bolo z východnej strany tunela Prešov vyrazených celkovo 1 724 m vrátane dvoch núdzových zalívov (STR – 930 m, JTR – 794 m). Razením z východného portálu sú zastihnuté prevažne pieskovce s tenkými vrstvami ílovcov. Kvalita horninového masívu umožňuje razenie s dĺžkou kroku max. 1,7 m. Razenie z východného portálu prebieha dovrhne v stúpaní 2,8 %. Popri razení z východného portálu boli prerazené i dve priečne prepojenia.

Raziace práce zo západného portálu (obr. 4) sa taktiež začali dňa 1. 8. 2018 v JTR a od dňa 15. 8. 2018 začalo aj razenie v STR. Čelba je členená horizontálne na kalotu, stupeň a dno, rozpájanie prebieha sčasti mechanicky a sčasti s použitím trhacích prác. Razenie zo západného portálu prebieha úpadne v sklone 0,8 %.

K 22. 3. 2019 bolo zo západnej strany tunela Prešov vyrazených celkovo 1 504 m vrátane profilu núdzového zálivu v JTR (STR – 723 m, JTR – 781 m). Zastúpenie vrstiev pieskovcov a ílovcov sa postupne zmenilo na prevažujúce pieskovcové vrstvy. Kvalita horninového masívu umožňuje razenie s dĺžkou kroku max. 1,7 m. Popri razení z východného portálu bolo prerazené jedno priečne prepojenie.

Pre plynulý postup razenia je po celý čas výstavby dôležitá logistika odvozu rúbaniny. Vhodná časť rúbaniny je použitá pre výstavbu násypov a deponovaná pre budúce zásypy. Časť rúbaniny je používaná na rekultiváciu lesných ciest v príslušných mestských lesoch.

Ak nenastanú zásadné zmeny v geologickej stavbe zostávajúceho úseku horninového masívu, mali by byť obe tunelové rúry prerazené v kalote v letných mesiacoch tohto roka. Nasledovať bude výstavba definitívneho ostenia, technologických centrál u oboch tunelových portálov a príprava na montáž technologických častí stavby.

Celú stavbu juhozápadného obchvatu Prešova realizuje Združenie D1 Prešov (EUROVIA SK, a.s., EUROVIA CS, a.s., Doprastav, a.s., Metrostav a.s., Metrostav Slovakia a.s.), tunel Prešov realizuje Metrostav a.s.

Ing. MIROSLAV ŽÁČIK, Doprastav, a.s.

Ing. JIŘÍ KOTOUČ, Metrostav, a.s.

Ing. MILOSLAV FRANKOVSKÝ, Terraprojekt, a.s.

TUNELY NA ŽELEZNIČNEJ SIETI

Tunel Diel

Tunel Diel prechádza masívom vrchu Diel ktorý tvorí centrálnu časť meandru Váhu v oblasti Nostickej priehrady. Tunel je navrhnutý dĺžky 1082 metrov. Razenie tunela prebiehalo v masíve popod kúpele Nimnica. Západný portál je situovaný na okraji obce Nimnica, východný portál sa realizuje v území lesa nad cestou druhej triedy II/507, ktorá vedie z Púchova do Povážskej Bystrice po pravom brehu priehrady. Tunel Diel má prerazenú únikovú štôľňu, ktorá ústí do priestoru východného portálu tunela.



Obr. 5 Východný portál tunela Diel

Fig. 5 Diel tunnel – eastern portal

1st August 2018 in the STT and on 15th August in the NTT. The horizontal excavation sequence comprises top heading, bench and bottom. Rock mass is being disintegrated partially mechanically and partially using the Drill&Blast method. The excavation from the western portal proceeds on a downhill gradient of 0.8%.

As of 22nd March 2019, 1504m of the tunnel excavation, including the emergency lay-by profile in the STT (NTT – 723m; STT – 781m), have been finished from the western side of the Presov tunnel. The proportion between sandstone layers and claystone layers gradually changed to prevailing sandstone layers. The rock mass quality allows for the excavation rounds maximally 1.7m long. One cross passage was broken through during the excavation from the eastern portal.



Obr. 6 Debníci voz na tuneli Diel

Fig. 6 Travelling formwork at Diel tunnel

V čase písania tejto aktuality ešte stále chýba preraziť zostávajúcich 30 metrov tunela pri východnom portáli (obr. 5), z dôvodu hĺbenia východného portálu. Z tohto dôvodu sa nedá hovoriť, že bol tunel prerazený. V čase konania konferencie v Prahe by však už mal byť tunel kompletne prerazený.

Vo vnútri tunela sa po jeho profilácii rozbehli práce na spodných klenbách a základových pásoch. Približne 1/3 dĺžky tunela bude mať v dne základové pásy a betónovú dosku vystuženú oceľovým vláknom, 2/3 budú so spodnou klenbou. Izolačné práce začali zhotovením izolácie vo výklenkoch. Na západnom portáli finišuje montáž debniacieho vozňa (obr. 6) na realizáciu sekundárneho ostenia. Pre drenážne odvodnenie tunela sa inštalujú šachty do čistiacich výklenkov.

Úniková štôľňa bola kompletne prerazená. Je tak umožnené ventilať celý hlavný tunel, čo pomáha pri betonárskych prácach. Zároveň štôľňa slúži na prísun materiálu a logistiku prác.

Na východnom portáli ďalej prebieha postupné odťažovanie masívu a realizácia stien portálovej jamy. Steny sú tvorené z mikropilót, na vrchu sú zmonolitnené do múrika s pohľadového betónu, postupným odťažovaním masívu sú spevňované roznášacími železobetónovými prahmi, ktoré sú kotvené lanovými kotvami. Momentálne prebiehajú práce na úrovni výškovo totožnej s budúcim stropom tunela. V krátkom čase tak bude možné započatť vrtanie mikropilótového dáždnika tunela, pod ktorým sa vyrazí prvých 20 metrov zvonku.

Tunel Milochov

Na preklenutie úpätia vrchu Stavná, južne od miestnej časti Horný Milochov mesta Považská Bystrica, je navrhnutý nový tunel Milochov. Projektovaná dĺžka tunela je 1861 metrov. Tunel bude mať jednu únikovú štôľňu, ktorá bude vyúsťovať v obci Horný Milochov.



Obr. 7 Západný portál tunela Milochov
Fig. 7 Milochov tunnel – western portal

Logistics of the transport of muck from the tunnel is important for the fluent advance of the excavation during the whole construction time. Part of the excavated rock mass is used for reclamation of forest roads in adjacent urban forests.

If no significant changes are encountered in the geological structure of the remaining section of the rock mass, both tunnel tubes should be broken through in the top heading this year, in summer months. The construction of the final lining, technical centres at both tunnel portals and preparation for installation of tunnel equipment will follow.

The entire construction of the south west by-pass of Presov is being realised by the Consortium D1 Presov (EUROVIA SK, a.s., EUROVIA CS, a.s., Doprastav, a.s., Metrostav a.s., Metrostav Slovakia a.s.); the Presov tunnel is being realised by Metrostav a.s.

Ing. MIROSLAV ŽÁČIK, Doprastav, a.s.

Ing. JIŘÍ KOTOUČ, Metrostav, a.s.

Ing. MILOSLAV FRANKOVSKÝ, Terraprojekt, a.s.

TUNNELS ON RAILWAY NETWORK

Diel Tunnel

The Diel tunnel runs through the massif of Diel Hill, which forms the central part of the Váh River meander in the area of the Nosice dam. The tunnel design length is equal to 1082m. The western portal is located at the edge of the municipality of Nimnica; the eastern portal is being built in a forested area, above the secondary road II/507 leading from Púchov to Považská Bystrica along the right bank of the reservoir. The Diel tunnel has got an escape gallery, which has its mouth in the area of the eastern portal of the tunnel.

At the time of writing this information the excavation of the remaining 30m long section of the tunnel at the eastern portal (see Fig. 5) has not been completed yet because of the excavation of the construction pit for the eastern portal. For that reason it is not possible to state that the tunnel has been broken through. But the tunnel should be completely broken through at the time of the Prague conference.

Inside the tunnel, after the completion of excavation profiling operations, the work started on inverts and footings. Approximately 1/3 of the tunnel length will have footings at the bottom and a steel fibre reinforced concrete slab, whilst 2/3 will have an invert. The waterproofing operations started by installation of the waterproofing membrane in niches. At the western portal, the assembly of the travelling formwork (see Fig. 6) for realisation of the secondary lining is finishing. Tunnel drainage manholes are being installed in cleaning niches.

The escape gallery has been completely broken through. It is therefore possible to ventilate the whole main tunnel. It is helpful during concrete casting operations. At the same time, the gallery is used for supplying materials and for the work logistics.

At the eastern portal, the step-by-step excavation of the rock mass and realisation of portal walls continues. The walls are made up of micropiles, at the top they are made monolithic by a small architectural finish concrete wall; the walls are stabilised during the gradual excavation of the rock mass by reinforced concrete spreading walers, which are anchored by cable anchors. At the moment, work operations proceed at the level identical with the level of the future tunnel roof deck. For that reason in will be shortly possible to start to drill holes for the canopy tube pre-support. The initial 20 metres of excavation from the outside will be protected by the canopy.

Milochov tunnel

The new tunnel, Milochov, is designed for passing under the bottom of Stavná hill, south of the Horný Milochov district of



Obr. 8 Portál únikovej štôlne tunela Milochov
Fig. 8 Milochov tunnel – escape gallery portal

Raziace práce zo západného portálu (obr. 7) sú ukončené. Vyrazených je 115 metrov v kalote a na celý profil tunela 105 metrov.

Razenie z východného portálu pokračuje prácami v stupni a dne. Po priblížení sa ku čelbe tunela cca na 30 metrov bude pokračovať razenie v kalote, kde sa prejde z vystrojovacej triedy Vc na Vb. Zmena v triedach je daná vypustením dočasného dna kaloty, zredukovaním čelbových sklolaminátových svorníkov a rýchlejšim uzatváraním celého profilu tunela. Z hľadiska geológie sa do čelby dostávajú v smere razenie z ľavej strany skalné horniny, ktoré postupne vytlačujú ílovité zeminy. Predpokladáme, že asi po 80 m by mohla byť kompletná čelba v skalnom prostredí, a tak bude možno prejsť do jednoduchších vystrojovacích tried. K 11. 3. 2019 je vyrazených 256 metrov v kalote a 214 na celý profil.

V obci Horný Milochov boli ukončené práce na otváraní portálu únikovej štôlne (obr. 8). Bol zrealizovaný mikropilóťový dáždnik pre začiatok razenia. Z portálu sa bude raziť len prvých 10 m. Hlavná časť štôlne bude razená z tunela do vrchu.

Celú stavbu realizuje združenie Nimnica zložené zo spoločností Doprastav – TSS Grade – SUBTERRA – EŽ Praha. Tunel Diel realizuje spoločnosť TUBAU, a.s. a tunel Milochov spoločnosť Subterra a.s. Generálnym projektantom pre investora Železnice Slovenskej republiky je spoločnosť REMING CONSULT a.s.

Ing. JÁN KUŠNÍR, REMING CONSULT a.s.

the town of Banská Bystrica. The tunnel design length amounts to 1861 metres. The tunnel will have one escape gallery, which will end in the municipality of Horný Milochov. .

The excavation of the tunnel from the western portal (see Fig. 7) has been finished. The length of 115m of top heading and 105m of the full tunnel profile excavation has been completed.

The excavation from the eastern portal continues by working in the bench and the bottom. After approaching to the tunnel excavation face to the distance of 30 metres, the excavation will continue in the top heading, where the excavation support class Vc will pass to Vb. The change

in the classes follows from the omission of the temporary top heading invert, reduction of the quantity of glassfibre reinforced plastic bolts installed into the excavation face and the faster closing of the whole tunnel profile by the lining. As far as geology is concerned, rock is getting into the excavation profile from the left-hand side (viewed in the direction of excavation) and are gradually replacing clayey ground. We assume that about 80m ahead, the whole excavation face will be passing through rock environment, and it will be possible to apply simpler excavation support classes. As of 11th March 2019, 256m of excavation has been finished in the top heading, as well as 214m of the full face excavation.

In the municipality of Horný Milochov, the work on opening the portal of the escape gallery has been finished (see Fig. 8). Canopy tube pre-support has been installed for the beginning of the excavation. Only the initial 10m of the tunnel will be driven from the portal. The main part of the gallery will be driven uphill from the tunnel.

The whole construction is being realised by the Nimnica Consortium consisting of the companies of Doprastav – TSS Grade – SUBTERRA – EŽ Praha. The Diel tunnel is being realised by the company of TUBAU, a.s., and the Milochov tunnel is being carried out by the company of Subterra a.s. The general designer for the project owner, Railways of the Slovak Republic, is the company of REMING CONSULT a.s.

Ing. JÁN KUŠNÍR, REMING CONSULT a. s.

Z HISTORIE PODZEMNÍCH STAVEB FROM THE HISTORY OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

POHLEDNICE S TUNELY V RAKOUSKU III PICTURE POSTCARDS WITH TUNNELS IN AUSTRIA III

This part of the series with tunnels on picture postcards returns again to Austria. It first of all presents four picture postcards with railway tunnels from the tunnelling Promised Land. One of them is located on the Rittner Bahn (Ferrovía del Renon), but it is today no more located in Austria, despite the fact that it was constructed in Austria-Hungary. The reason is that the area of South Tyrol has belonged to Italy as Alto Adige since 1919. Other three tunnels on the picture cards can be considered to be road tunnels, when one of them (the Franz Josef tunnel at Traunse), strictly speaking, no

longer exists. The last picture postcard is reminiscent of the very interesting underground spaces of the Catacombs in Salzburg.

Tento díl seriálu s tunely na pohlednicích se již po několikáté vrací do Rakouska. Ze země tunelům zaslíbené uvádí především čtyři pohlednice s tunely železničními. Jeden z nich, nacházející se na Rittner Bahn (Ferrovía del Renon), však dnes v Rakousku již neleží, a to přestože byl v Rakousko-Uhersku postavený. To proto, že od roku 1919 oblast Jižního Tyrolska náleží k Itálii jako Alto



Obr. 1 Svatý Anton na Arlbergu. Würthle & Sohn, Salzburg. 1254. 1900. [sbírka autorů]

Starý východní portál z r. 1884. Jeho horní část s dedikací císaři Františku Josefu I. byla při prodloužení tunelu v obci St. Anton přemístěna a tím jako památka zachována.

Fig. 1 Saint Anton on Arlberg. Würthle & Sohn, Salzburg. 1254. 1900. [authors' collection]

Old eastern portal from 1884. The upper part of the portal with dedication to Emperor Franz Josef I was transferred when the tunnel length was being extended in the village of St. Anton, thus it was preserved as a monument.

Adige. Další tři tunely na pohlednicích lze považovat za silniční, když jeden z nich (tunel Františka Josefa u Traunsee) přísně vzato již neexistuje. Poslední pohlednice potom připomíná velmi zajímavé podzemní prostory „Katakomb“ v Salzburgu.

ŽELEZNIČNÍ TUNEL F. J. I. NA ARLBERGU

Jedna pohlednice se starým východním portálem Arlberského železničního tunelu a jednoduchým domkem nádražíčka Sankt



Obr. 2 Dráha na Schneeberg s pohledem na Krummbachstein. Nr. 170. Verlag Oesterreichischer Touristenklub. Amateur-Aufnahme Otto Jahn. 1920. [sbírka autorů]

Krummbachstein (vlevo) je turisty vyhledávaná hora s výhledy právě na Schneeberg. Na pohlednici je původní jižní zděný portál Tunelu 1 od nádraží Baumgartner. Jeho vzhled je dnes zcela změněný, a to především instalací dvoukřídlých vrat umožňujících uzavření tunelu.

Fig. 2 Railway to Schneeberg with a view of Krummbachstein. No. 170. Verlag Oesterreichischer Touristenklub. Amateur-Aufnahme Otto Jahn. 1920. [authors' collection]

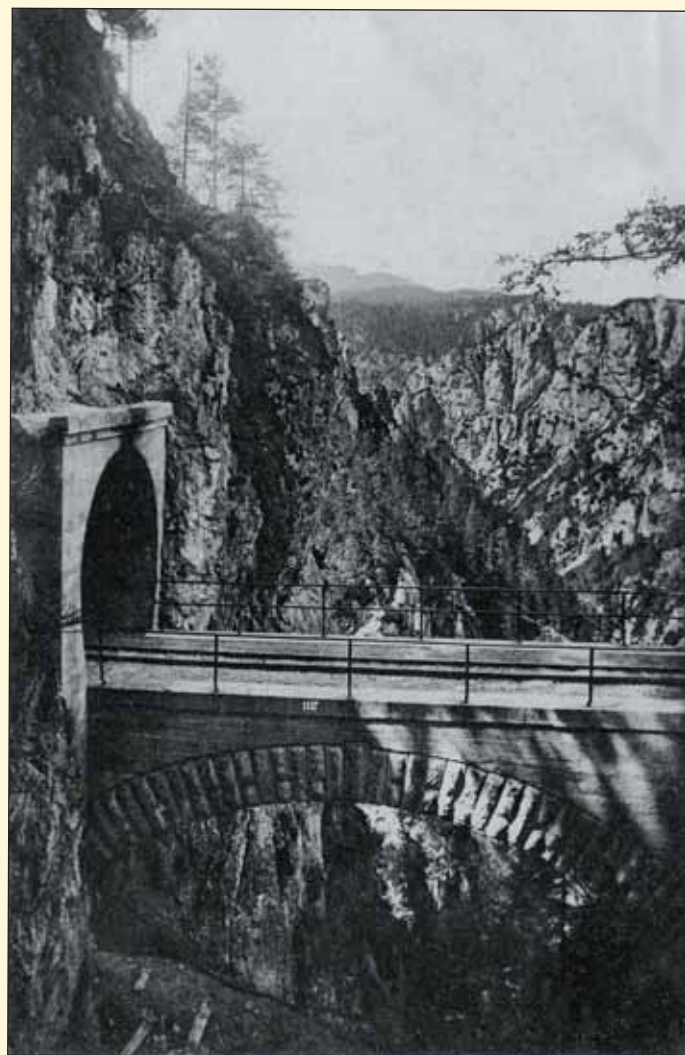
Krummbachstein (for the left) is a mountain coveted by tourists, with views of Schneeberg. There is the original masonry portal of Tunnel 1 viewed from Baumgartner station. Its appearance is today completely different, first of all because of the installation of a double-wing gate allowing for closing the tunnel.

Anton am Arlberg z 30. let 20. stol. již byla uveřejněna v časopisu Tunel 2/2016. Jejím doprovodem bylo shrnutí technických parametrů tunelu i historických souvislostí – viz. V nynějším pokračování je představena pohlednice s toutéž scénérií, ale o dlouhých 30 let starší – obr. 1.

Po 117 letech provozu tunelu byla v roce 2001 zřízena nová železniční stanice St. Anton a v souvislosti s tím prodloužil nový východní portál železničního tunelu Arlberg o 398 m na dnešních 10 648 m. Horní část východního historického portálu z r. 1884 s dedikací císaři Františku Josefu I. byla přitom snesena a na památku instalována cca 100 m západně od nového nádraží. [1]

ŽELEZNIČNÍ TUNELY NA SCHNEEBERGSKÉ DRÁZE

Železniční dráha rozchodu 1000 mm na Schneeberg v Dolním Rakousku byla otevřena 25. 9. 1897. Vyznačuje se dvěma rakouskými primáty. Jde o zdejší nejdelší ozubnicovou trať (9,7 km)



Obr. 3 Dolno-rakouská – štyrská Alpská dráha. V Zinken. Photogr. Anstalt N. Kuss, Mariazell 527. 1908. [sbírka autorů]

Na pohlednici je severní portál tunelu Großer Zinken od zastávky Wienerbruck-Josefsberg s navazujícím mostem. Patrné je výrazné zakouření záklenku a římsy tunelového portálu od provozu parní trakce.

Fig. 3 Lower Austrian – Styrian Alpine railway. V Zinken. Photogr. Anstalt N. Kuss, Mariazell 527. 1908. [authors' collection]

The picture postcard presents the northern portal of the Großer Zinken tunnel viewed from the Wienerbruck-Josefsberg intermediate station, with the following bridge. Distinct traces of smoke caused by the operation of steam traction are visible on the discharging arch and cornice of the tunnel portal.



Obr. 4 Rittnerská dráha u Bolzana s horou Schlern v pozadí (2565 m) Jižní Tyrolsko. Joh. F. Amonn, Bozen. Před 1914. [sbírka autorů]

Lokomotiva brzdí tramvajový vůz před vjezdem do severního portálu tunelu. Vpravo je vidět v pozadí hora Schlern (italsky Sciliar, v ladino Sciliär), jejíž výška se dnes udává 2563 m n. m. Pro své charakteristicky ploché temeno je považována za symbol Jižního Tyrolska (Alto Adige). Její oblast je od r. 1974 národním parkem. Zajímavostí je přetisk (Alto Adige, Italia) v pravém horním rohu pohlednice, pocházející z období po r. 1919, kdy bylo toto rakouské území odstoupeno Itálii.

Fig. 4 Rittner railway near Bozen with Schlern Mountain in the background (2565m) South Tyrol. Joh. F. Amonn, Bozen. Before 1914. [authors' collection]

A locomotive breaking a tram car before the entrance to the northern portal of the tunnel. For the right, there is Schlern mountain (Sciliar in Italian, Sciliär in Ladin), the altitude of which is today stated at 2563m a. s. l. It is considered to be a symbol of South Tyrol (Alto Adige). The territory has been a national park since 1974. The reprint (Alto Adige) at the right corner of the picture postcard which originated in the period after 1919, when this Austrian territory was transferred to Italy, is interesting.

a má nejvyšší železniční stanici (Hochschneeberg 1795 m n. m.). Ze stanice Puchberg am Schneeberg překonává železnice při max. sklonu 197 ‰ převýšení 1218 m. Trasa během toho prochází jedním z nejvýznamnějších pramenišť vody v Rakousku (mimo jiné i pro Vídeň).

Po podstatné modernizaci trati jsou od r. 1999 nasazovány moderní hybridní soupravy, nicméně v letních měsících o nedělích a státních svátcích se cestující setkávají i s tradičními parními vlaky.

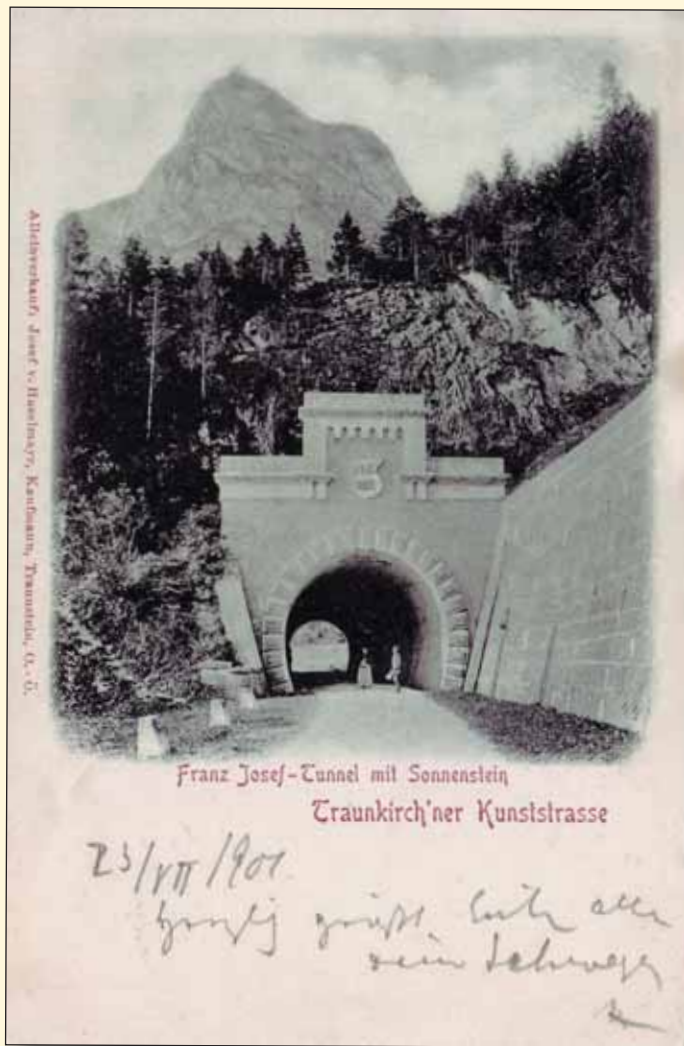
V horní části dráhy se nacházejí dva tunely označené jako Tunel 1 (délky 177 m – obr. 2) a Tunel 2 (dlouhý 202 m). Oba jsou „spirálové“, se značným komínovým efektem a od samého počátku slouží především jako ochrana před sněhem.[2]

ŽELEZNIČNÍ TUNEL GROSSER ZINKEN NA MARIAZELLERBAHN

O železnici spojující dolnorakouský St. Pölten s poutním místem Mariazell ve Štýrsku se psalo v tomto seriálu již v Tunelu číslo 1/2016. Pro stručnou rekapitulaci: Mariazellerbahn je elektrifikovaná jednokolejná úzkorozchodná dráha (760 mm) budovaná mezi lety 1898 a 1907. Na horské trati dl. cca 84 km je celkem 21 tunelů sumární délky 4573,6 m, přičemž 14 z nich je kratších než 100 m. Předposledním z těchto tunelů před Mariazell je Großer Zinken délky 68,53 m – obr. 3. [3, 4]

TUNEL NA RITTNER BAHN

Rittner Bahn (italsky Ferrovia del Renon) se nachází v Jižním Tyrolsku (Alto Adige), po 1. světové válce připojeném k Itálii.



Obr. 5 Tunel Františka Josefa se Sonnensteinem. Umělecká cesta v Traunkirch. Alleinverkauf: Josef v. Haselmayer, Kaufmann, Traunstein, O-Ö. 1901. [sbírka autorů]

Historický severní portál tunelu s dedikací Františku Josefovi byl při rekonstrukci snesený a na památku osazený u nové cyklostezky. Nad portálem tunelu se tyčí vrchol Sonnenstein (dnes Großer Sonnstein, 1037 m n. m.). Pohlednice byla 23. 7. 1901 odeslána do Olomouce na Moravě.

Fig. 5 Franz Josef tunnel with Sonnenstein. Artistic path in Traunkirch. Alleinverkauf: Josef v. Haselmayer, Kaufmann, Traunstein, O-Ö. 1901. [authors' collection]

The historic tunnel portal with dedication to Franz Josef was taken down during reconstruction and was installed as a landmark at a new cycle way. Sonnenstein mountain (today Großer Sonnstein, 1037m a. s. l.) rises above the tunnel portal. The picture postcard was posted to Olomouc in Moravia on 23rd July 1901.



Obr. 6 Hubertovo jezero s přehradou. Walstern u Mariazell. 19114 – p. Ledermann, Wien, I. Fleischmarkt 20. 1926. [sbírka autorů]

Tunel překonávající skalní ostroh spadající do jezera je stále nevyzděný. Štěrkovou vozovku dnes nahradila asfaltová komunikace.

Fig. 6 Hubert Lake with a dam. Walstern (Mariazell). 19114 – p. Ledermann, Wien, I. Fleischmarkt 1926. [authors' collection]

The tunnel passing under a rock promontory falling into a lake has not been provided with masonry lining yet. The gravel roadway was currently replaced by asphalt road.

Jde o lehkou elektrickou kolejovou dráhu charakteru tramvaje, rozchodu 1000 mm, délky 11,75 km, ve své první polovině (v délce 6,6 km a při max. sklonu 255 ‰) opatřené ozubnicí. Spojuje Bozen (Bolzano) s Oberbozen (Soprabolzano) na Rittenské náhorní plošině (Renon) a se zde se nacházejícími obcemi. Na trati je jeden krátký tunel (66 m) – obr. 4. Provoz byl zahájen 13. 8. 1908.

Od samého počátku využívala dráha zajímavou kombinaci pohonu – speciální lokomotiva tlačila prostřednictvím ozubnice vůz tramvaje z Bozen (Bolzano) do kopce až na náhorní plošinu Ritten (Renon), kde byla odpojena a tramvaj se dále pohybovala adhezí. Při návratu byla lokomotiva opět připojena a z kopce sloužila jako brzdicí – obr. 4. Současně jely proti sobě vždy dva vlaky – trakční motory brzděné lokomotivy působily jako generátory pohánějící lokomotivu tlačnou.

V 60. letech 20. století zásadně vážla celková údržba a chátrající trať špela k uzavření. Záchranu znamenaly rozsáhlé rekonstrukce a modernizace po r. 2000. Počet přepravených cestujících se nyní v plné sezoně uvádí číslem 3000 až 4000 denně, když v provozu je pouze úsek železnice na Rittenské náhorní plošině (Renon). [5]

TUNEL FRANTIŠKA JOSEFA U TRAUNSEE

Tunel Františka Josefa se nacházel na břehu Traunského jezera (Traunsee) v Horním Rakousku. Byl proražen při stavbě silnice spojující Gmunden a Ebensee v letech 1856 až 1861. Až do té doby byla doprava na této trase možná pouze plavbou po jezeře, nebo pěšky přes hory. Silnice po západním břehu Traunsee, s více tunely a galeriemi zbudovanými převážně italskými raziči, tak ukončila značnou izolaci oblasti Solné komory (Salzkammergut) od Horního Rakouska.

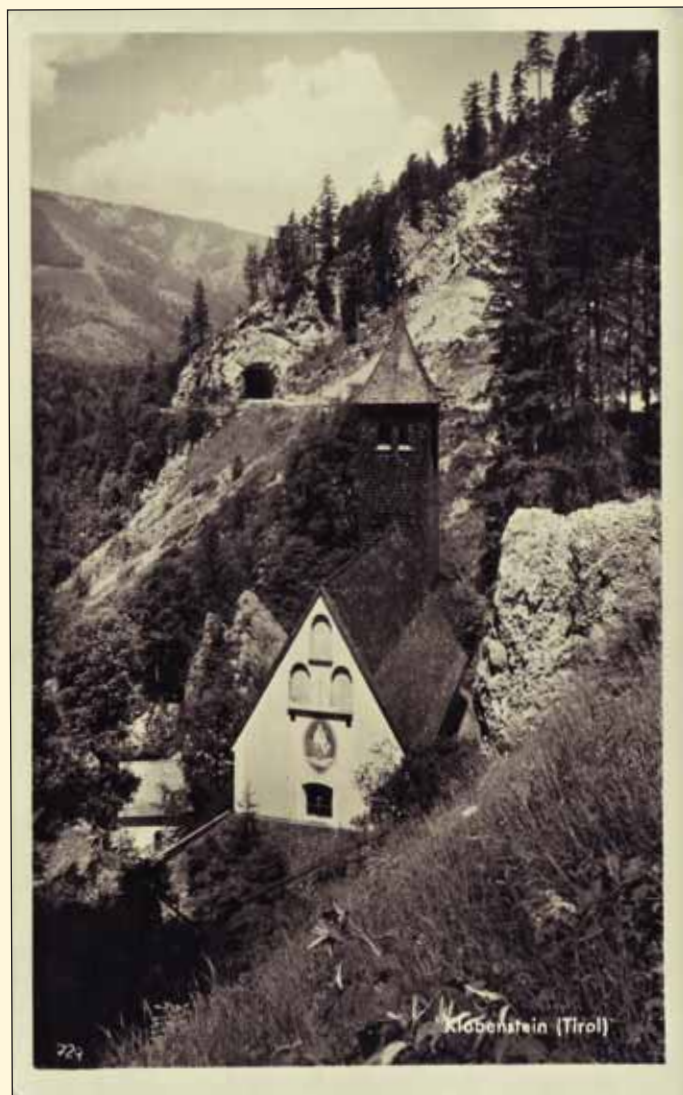
Krátký tunel Františka Josefa překonával skalní ostroh pod vrchem Sonnenstein (dnes Großer Sonnstein), spadající přímo do jezera při městečku Traunkirchen (obr. 5). Ve 20. stol. byla trasa postupně modernizována. V souvislosti s tím byl rozšířen i tunel, jehož současná délka činí 87 m. Historický portál z pohlednice na obr. 5 byl přenesen cca 600 m na jihovýchod, kde je umístěn jako památník u cyklostezky.

Poslední výrazná modernizace trasy proběhla v letech 2005–2007, kdy byl proražen nový Geißwandtunnel dlouhý 2119 m. Dnes

se na silnici nachází soustava 4 moderních tunelů, označovaných jako Tunelový řetěz Traunsee (Tunnelkette Traunsee) a původní historickou trasou po nábreží jezera je vedena cyklostezka. [6, 7]

TUNEL U HUBERTUSSEE

Hubertovo jezero (Hubertussee) je umělá vodní nádrž plochy přibližně 15 ha. Nachází se na říčce Walster ve Štýrsku, cca 7,5 km severovýchodně od poutního místa Mariazell. Vzniklo v roce 1906 jako dárek Arthuru Kruppovi, a to od manželky při výročí stříbrné svatby. Vícefunkční vodní dílo pojmenované podle patrona lovců se dnes nachází v přírodní rezervaci a slouží i k výrobě elektrické energie. Jezero obchází místní komunikace pojmenovaná Hubertusseestrasse. V její severní větvi, nedaleko hráze, se nachází krátký bezejmenný tunel dlouhý cca 10 m – obr. 6. [8]



Obr. 7 Klobenstein (Tyrolsko). 729 Foto Hugo Haug, Unterwössen. 1942. [sbírka autorů]

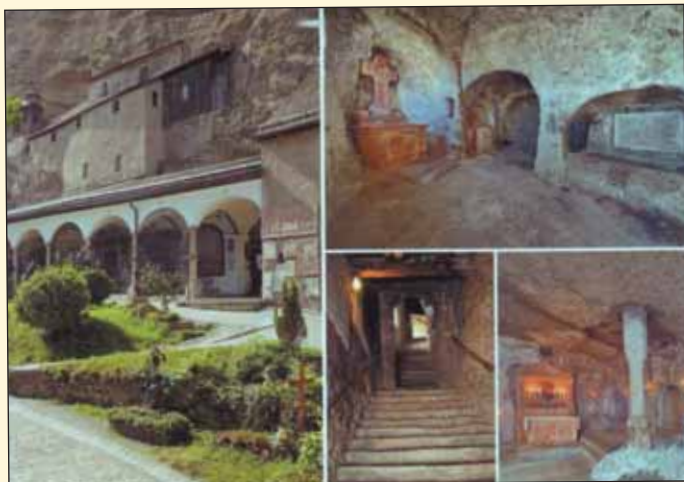
V centru pohlednice fotografované od jihu je poutní kostel Nanebevstoupení Panny Marie. Nad ním prochází Klobesteinská silnice s hraničním tunelem. Pohlednice odeslaná uprostřed 2. světové války (15. 8. 1942) je opatřena turistickým pamětním razítkem Gasthaus Klobenstein.

Fig. 7 Klobenstein (Tyrol). 729 Photo Hugo Haug, Unterwössen. 1942. [authors' collection]

The pilgrimage church of the Assumption of the Virgin Mary, photographed from the south, is in the centre of the picture postcard. The Klobenstein road with the border tunnel runs above it. The picture postcard was posted during World War II (on 15th August 1942). It is provided with a tourist commemorative stamp Gasthaus Klobenstein.

HRANIČNÍ TUNEL KLOBENSTEIN

Na předělu spolkové země Tyrolska s Bavorskem (SRN) se nachází významné lyžařské středisko Kössen. Přibližně 2 km severně od městečka, při státní hranici, se nachází historický zájezdni hostinec Klobenstein (Gasthaus Klobenstein) založený 1674 a poutní kostel Nanebevstoupení Panny Marie. Ve stopě staré pašerácké stezky prochází okolo obou objektů do Bavorska Klobesteinská silnice (Klobesteiner Straße). Ta nad kostelem překonává krátkým tunelem, dlouhým cca 25 m, strmě spadající skalní ostroh – obr. 7. Zajímavostí je to, že tunelem prochází státní hranice. [9]



Obr. 8 „Katakomby“ na Petrském hřbitově. Arciopatství sv. Petra v Salzburgu. Okénková pohlednice. Verlag St. Peter, 5020 Salzburg. Fotos: Reinhard Weidl. 2018. [sbírka autorů]

Vlevo: arkádové hrobky při úpatí kopce. Ve stěně nad nimi je patrné mladší boční přizdění Getraudovy kaple se zvoničkou. Vpravo nahoře: Maximova kaple. Dole uprostřed: přístupové schodiště. Vpravo dole: Getraudova kaple s románsko-gotickým sloupem vloženým v 17. stol.

Fig. 8 „Catacombs“ in the Peters cemetery. St. Peter archabbey in Salzburg. Window-postcard. Verlag St. Peter, 5020 Salzburg. Photos: Reinhard Weidl. 2018. [authors' collection]

For the left: arcade tombs at the bottom of a hill. Younger additional side masonry of Gertraud chapel with a small bell tower. In the top right corner: the Maximus Chapel. In the bottom centre: access staircase. In the bottom right corner: the Gertraud Chapel with a roman-gothic pillar inserted in the 17th century.

„KATAKOMBY“ V SALZBURGU

Do paty pahorku, na kterém se nachází salzburská Pevnost, jsou nad okrajem hřbitova sv. Petra (Petersfriedhof) vytesány „Katakomby“. Jejich počátek je odhadovaný do přelomu pozdní antiky a raného křesťanství s tím, že sloužily pravděpodobně k setkávání křesťanů, ne však k pohřbívání.

„Katakomby“ jsou přístupné schodištěm nacházejícím se vpravo od arkádových hrodek postavených v 17. stol. při úpatí kopce (obr. 8). Schodiště vede ke dvěma kaplím v hoře.

Největší zdejší prostorou je kaple Maximova (sv. Maxim z Ioviacumi), vysvěcená roku 1172 arcibiskupem Konrádem III. a zásadně renovovaná r. 1659 – obr. 8.

Druhou kaplí je Getraudova, zasvěcená sv. Getraudovi z Nivelles, zřízená v roce 1178 arcibiskupem-kardinálem Konrádem III. Nacházejí se v ní fresky zobrazující mučednictví sv. Tomáše Becketta. Ve středu místnosti je románsko-gotický sloup vložený až v 17. století a mající pouze dekorativní funkci. V důsledku porušení krycí vrstvy horniny byla stěna kaple opravena charakteristickým přizděním s vysunutou střechou a zvonící. Do povrchu z něj bylo r. 1865 proraženo šest klenutých okének v neo-raném křesťanském slohu (obr. 8).

Zajímavost: Ještě na počátku 19. stol byla v kryptě pohřbena Mozartova sestra Nannerl. [10]

doc. Ing. VLADISLAV HORÁK, CSc.,
Ing. RICHARD SVOBODA, Ph.D.,
Ing. MARTIN ZÁVACKÝ

Poděkování: Článek byl vytvořen v rámci řešení projektu č. LO1408 „AdMaS UP – Pokročilé stavební materiály, konstrukce a technologie“ podporovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy v rámci účelové podpory programu „Národní program udržitelnosti I“ a projektu č. TE01020168 „Centrum pro efektivní a udržitelnou dopravní infrastrukturu (CESTI)“ podporovaného z programu Centra kompetence Technologické agentury České republiky (TAČR).

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Arlberggtunnel (Eisenbahn) [online]. [cit. 2019-02-28]. Dostupné na internetu <[https://de.wikipedia.org/wiki/Arlberggtunnel_\(Eisenbahn\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Arlberggtunnel_(Eisenbahn))>
- [2] Schneebergbahn (Zahnradbahn) [online]. [cit. 2019-02-28]. Dostupné na internetu <[https://de.wikipedia.org/wiki/Schneebergbahn_\(Zahnradbahn\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Schneebergbahn_(Zahnradbahn))>
- [3] Eisenbahn-Tunnel in Österreich [online]. [cit. 2019-02-28]. Dostupné na internetu <<http://www.eisenbahntunnel.at/>>
- [4] Mariazellerbahn [online]. [cit. 2019-02-28]. Dostupné na internetu <<https://de.wikipedia.org/wiki/Mariazellerbahn>>
- [5] Rittner Bahn [online]. [cit. 2019-02-28]. Dostupné na internetu <https://de.wikipedia.org/wiki/Rittner_Bahn>
- [6] Vor 150 Jahren beendete eine Straße die Isolation des Salzkammerguts [online]. [cit. 2019-02-28]. Dostupné na internetu <<https://www.nachrichten.at/oberoesterreich/salzkammergut/Vor-150-Jahren-beendete-eine-Strasse-die-Isolation-des-Salzkammerguts;art71,689955>>
- [7] Geißwandtunnel [online]. [cit. 2019-02-28]. Dostupné na internetu <<https://de.wikipedia.org/wiki/Geißwandtunnel>>
- [8] Der Hubertussee [online]. [cit. 2019-02-28]. Dostupné na internetu <<https://www.mariazell.at/mariazeller-land/sightseeing/der-hubertussee/>>
- [9] Gasthaus Klobenstein [online]. [cit. 2019-02-28]. Dostupné na internetu <<https://www.gasthaus-klobenstein.com/>>
- [10] Katakomben Salzburg [online]. [cit. 2019-02-28]. Dostupné na internetu <https://de.wikipedia.org/wiki/Katakomben_Salzburg>

VÝROČÍ ANNIVERSARIES

80 LET PROF. ING. JIŘÍHO BARTÁKA, DRSC.**80TH ANNIVERSARY OF THE BIRTH OF PROF. CENG. JIŘÍ BARTÁK, DRSC.**

V červnu tohoto roku se dožívá osmdesáti let jeden ze zakladatelů moderní školy českého podzemního stavitelství prof. Ing. Jiří Barták, DrSc., řádný profesor ČVUT v Praze, kde stále aktivně působí na katedře geotechniky Stavební fakulty. Je to výročí významné především proto, že osobní vitalita a životní elán stále umožňuje profesoru Bartákovi plné pracovní nasazení a pedagogické i odborné působení, které bylo v r. 2018 oceněno udělením pamětní medaile. Prof. Jiří Barták je váženým a velmi vytěžovaným expertem a členem několika profesních společností. Česká tunelářská asociace jej již dříve jmenovala čestným členem a jeho přínos asociaci a českému podzemnímu stavitelství ocenila udělením pamětní medaile CzTA. Je člen redakční rady časopisu Inženýrské stavby. Jeho jméno je také úzce spjato s časopisem TUNEL, kde je dlouholetým členem a od roku 2009 předsedou redakční rady.



Prof. Barták se narodil 13. června 1939 v Praze. Fakultu inženýrského stavitelství ČVUT, obor konstruktivně-dopravní, absolvoval v roce 1961 s diplomovou prací „Projekt ražby trasy „A“ metra pod Starým Městem“. Po krátkém působení na stavbě Kaučuku Kralupy byl přijat v roce 1962 jako asistent na katedru silničních staveb Stavební fakulty, v roce 1963 působil jako asistent na katedře železničních staveb a po vzniku katedry geotechniky se stal odborným asistentem u prof. Ing. J. Straky, DrSc. Od této doby začali prof. Barták se svým kolegou prof. Buckem svými pracemi ovlivňovat budoucí vývoj a rozvoj významného oboru geotechniky – podzemních staveb. V 2. polovině 60. let absolvoval dlouhodobou stáž v laboratořích mechaniky hornin Hornického ústavu ČSAV, poté působil u stavebních podniků Kámen Praha a Instav Praha při navrhování a provádění trhacích prací. V roce 1972 obhájil kandidátskou dizertační práci „Statické řešení kotveného pažení hlubokých stavebních jam“, v roce 1976 habilitační práci „Metoda konečných prvků v geotechnice“. V roce 1977 byl jmenován docentem pro obor zakládání staveb a podzemní stavby na katedře geotechniky Fakulty stavební. Vědeckou hodnost doktora technických věd získal v roce 1987 po obhájení dizertační práce „Progresivní postupy navrhování hloubených podzemních staveb“ a v roce 1988 byl jmenován profesorem pro obor podzemní stavby na Stavební fakultě ČVUT v Praze. K jeho pedagogickému působení na Stavební fakultě ČVUT se váže především přednášková činnost jak v řádném studiu, tak v posledních letech v rámci Univerzity 3. věku; důležitá je jeho schopnost propojení přednášek s praxí formou exkurzí do terénu. Významné je i jeho autorství a spoluautorství velkého počtu vysokoškolských skript s tematikou podzemních staveb a geotechniky. Jeho zásluhy na výchově generací úspěšných tunelářů a řady nových vědeckých a vědecko-pedagogických pracovníků jsou všeobecně uznávané.

Prof., CEng. Jiří Barták, DrSc., full professor at the Czech Technical University in Prague Prague (hereinafter referred to as the CTU), one of the founders of modern Czech underground structural engineering, where he is still active at the Department of Geotechnics of the Faculty of Civil Engineering, will live to be eighty years old in June 2019. This anniversary is important first of all because of the fact that the personal vitality and stamina still allow professor Barták to apply his work commitment and teaching and professional activities, which were appreciated in 2018 by the award of the commemorative medal. Prof. Jiří Barták is a highly regarded and fully occupied expert and is a member of several professional associations. The Czech Tunnelling Association had previously appointed him an honourable member and appreciated his contribution to the association and the Czech underground structures engineering by awarding him the CzTA commemorative medal. He is a member of the Editorial Board of Czech Civil Engineering Journal. His name is in addition connected with TUNEL journal, where he is a long-standing member of the Editorial Board and, from 2009, its chairman.

Prof. Barták was born in Prague on 13th July 1939. He graduated from the Faculty of Civil Engineering of the CTU in Prague with a degree in civil engineering from the Department of Civil Engineering and Transportation Structures in 1961, with a master thesis “Design for excavation of metro line A under the Old Town”. After short employment at the Kaučuk Kralupy construction site, he was employed in the position of a fellow at the Department of Road Structures of the Faculty of Civil Engineering in 1962. In 1963, he was employed in the position of a fellow at the Department of railway structures and, after the establishment of the Department of Geotechnics, he became a technical assistant of professor CEng. J. Straka, DrSc. Since then, Prof. Barták with his colleague, Prof. Bucek, started to influence the future development of the important branch of geotechnical engineering – underground structural engineering. In the 2nd half of the 1960s, he completed a long-term internship in the rock mechanics laboratories of the Mining Institute of the Czechoslovak Academy of Sciences. Subsequently he was employed in civil engineering companies Kámen Praha and Ingstav Praha in the field of designing and conducting blasting operations. In 1972, he defended the candidate thesis “Static solution to anchored bracing of deep construction pits”, and in 1976, the habilitation thesis “Finite Element Method in Geotechnical Engineering”. In 1977 he was appointed associate professor for the field of foundation engineering and underground structures at the Department of Geotechnics of the Faculty of Civil Engineering. In 1987, after passing the oral concerning candidate thesis “Progressive procedures of designing cut-and-cover underground structures”, he was awarded the scientific degree of doctor of technical sciences. In 1988, he was appointed professor for the field of underground construction at the Faculty of Civil Engineering of the CTU in Prague. His teaching activity at the Faculty of Civil Engineering of the CTU is associated first of all with lecturing not only in regular studies, but also within the framework of the University of the Third Age. His capability to interconnect lectures with practice in the form of excursions to terrain is important. His authorship and co-authorship of many university textbooks on the themes focused on underground construction and geotechnical engineering is also important. His credit for education of generations of successful tunnel construction engineers and many new scientific and scientific-teaching workers is generally acknowledged.

Prof. Barták is known for his extraordinary interest in solving difficult tasks occurring in the construction practice. With respect to his rich experience, he is a sought-after expert on the field of

Prof. Barták je znám svým mimořádným zaujetím pro řešení obtížných úkolů vyskytujících se ve stavební praxi. Vzhledem ke svým bohatým zkušenostem je vyhledávaným expertem pro oblast podzemních staveb i zakládání staveb. Zpracoval přes 125 znaleckých posudků a přes 250 odborných expertiz pro investorské, projekční a dodavatelské organizace v ČR, v posledních letech působil a působí jako expert na velkých podzemních stavbách. V posledních deseti letech to byly železniční tunely Votice – Benešov (2009–2011, člen Technické rady Subterra a.s.), ražba prodloužení trasy „A“ pražského metra (2010–2013, člen Rady monitoringu), výstavba stanice Veleslavín metra A (2010–2013, člen Technické rady Subterra a.s.), tunel Sudoměřice (2013–2014, člen Rady výstavby OHL ŽS, a.s.), tunely Polana a Žilina (2014–2017, předseda Technické rady podzemních staveb Metrostavu a.s.), tunel Ejpovice na III. železničním koridoru ČD (2014–2018, člen Rady monitoringu – SŽDC, s.o.), odstranění havarijního stavu Kremnické ul. v Kutné Hoře (2015–2018, člen Rady monitoringu – PRAGOPROJEKTU, a.s.), zakládání Office and Business Centre Praha (2018–trvá, předseda Rady monitoringu – KKG Real Estate), tunel Deboreč (2019–trvá, člen Rady výstavby OHL ŽS, a.s.).

K jeho odborným a vědeckým aktivitám se váže přes 250 publikovaných časopiseckých článků a příspěvků ve sbornících vědeckých konferencí. Jako spoluautor a vedoucí redakčního kolektivu se podílel na přípravě odborných knižních publikací „Tunel Mrázovka“ (SATRA 2004) a „Podzemní stavitelství v České republice“ (SATRA 2007). Je spoluautorem knihy „Tunely na pozemních komunikacích“ (ČVUT Praha 2011).

Prof. Barták je autorizovaným inženýrem pro obor geotechnika, předsedou zkušební komise ČKAIT pro tento obor a soudním znalcem pro obor zakládání staveb a podzemní stavby. Je členem Geotechnické společnosti ČSSI, členem komise Českého báňského úřadu pro jmenování báňských znalců a členem Technické rady Ředitelství silnic a dálnic ČR. Významně se zasloužil o úspěch světového tunelářského kongresu v Praze v roce 2007 a byl též členem přípravných a vědeckých výborů českých i mezinárodních konferencí. Rozsáhlá pedagogická, vědecká, odborná a organizační činnost prof. Bartáka svědčí o jeho trvalém pracovním nasazení ve prospěch geotechniky.

Jménem široké obce stavebních inženýrů a tunelářů přejeme prof. Bartákovi do dalších let především tolik potřebné zdraví, neutuchající vitalitu a ještě mnoho úspěchů v jeho pedagogické a odborné činnosti.

doc. Dr. Ing. JAN PRUŠKA, člen redakční rady

ING. VLASTIMIL HORÁK ŠEDESÁTNÍKEM ING. VLASTIMIL HORÁK SEXAGENARIAN

Ing. Vlastimil Horák se narodil v r. 1959 v Bučovicích. Zde také navštěvoval místní gymnázium. Po maturitě se zapsal na Fakultu stavební VUT v Brně a inženýrské studium oboru konstruktivně-dopravního se specializací geotechnika úspěšně absolvoval v roce 1983. Vysokoškolské vzdělání si dále rozšířil postgraduálním studiem na



underground construction and foundation engineering. He processed over 125 expert assessments and over 250 professional expertises for investment, designing and contractor organisations in the Czech Republic. In recent years he has acted as an expert at large underground construction projects. In the last ten years he worked on the Votice – Benešov railway tunnels (2009–2011, a member of the Technical Board of Subterra), excavation of tunnels on the extension of the Prague metro line A (2010–2013, a member of the Monitoring Board), construction of Veleslavín station on metro line A (2010–2013, a member of the Technical Board of Subterra a.s.), the Sudoměřice tunnel (2013–2014, a member of the Construction Board of OHL ŽS, a.s.), the Polana and Žilina tunnels (2014–2017, Chairman of the Technical Board for underground structures of Metrostav a.s.), the Ejpovice tunnel on the railway corridor III of Czech Railways (2014–2018, a member of the Monitoring Board – Railway Infrastructure Administration, state organisation), rectification of Kremnická Street disrepair in Kutná Hora (2015–2018, a member of the Monitoring Board – PRAGOPROJEKT, a.s.), foundation of the Office and Business Centre Praha (2018–continues, Chairman of the Monitoring Board – KKG Real Estate), the Deboreč tunnel (2019–continues, a member of Construction Board of OHL ŽS, a.s.).

Over 250 papers and contributions published in journals and proceedings of scientific conferences are associated with his professional and scientific activities. As a co-author and head of the editorial team, he participated in the preparation of publications of technical books „Mrázovka tunnel“ (SATRA 2004) and „Underground construction in the Czech Republic“ (SATRA 2007). He is the co-author of the book „Road tunnels“ (ČVUT Praha 2011).

Prof. Barták is an authorised engineer for the field of geotechnical engineering, the chairman of the Examination Committee of the Czech Chamber of Authorised Engineers and Techniques in Construction for this branch and a judge advocate for the branch of foundation of structures and underground construction. He is a member of the Society for geotechnical engineering of the Czech Institution of Structural and Civil Engineers, a member of the committee of the Czech Mining Administration for appointing mining experts, and a member of the Technical Board of the Road and Motorway Directorate of the CR. He has a significant credit for the success of the World Tunnel Congress in Prague in 2007 and was even a member of the steering committee and scientific committee of Czech and international conferences. The extensive teaching, scientific, professional and organisational activities of Prof. Barták testify to his permanent work commitment on behalf of geotechnical engineering.

We are wishing Prof. Barták, on behalf of the wide community of civil and tunnel construction engineers, first of all the so much necessary health, unflagging vitality and lots of success in his teaching and technical activities in the years to come.

doc. Dr. CEng. JAN PRUŠKA, member of Editorial Board

Ing. Vlastimil Horák was born in 1959 in Bučovice, where he attended the local grammar school. After passing the maturita exams he enrolled at the Faculty of Civil Engineering of the Brno University of Technology and graduated with a degree in civil engineering from the Department of Civil Engineering and Traffic Structures in 1983. He further expanded his university education by graduate studies at the former Department of Geotechnics under the guidance of Prof. Vojtěch Mencl, ending in 1991. He has a range of special authorisations for engineering activities, for example underground construction. He is, apart from other capacities, an

tehdejší katedře geotechniky, pod vedením prof. Vojtěcha Menc-la, s ukončením r. 1991. Disponuje řadou speciálních oprávnění pro inženýrskou činnost, potažmo podzemní stavby. Je, vedle jiného, autorizovaným inženýrem ČKAIT pro obor geotechnika, držitelem osvědčení „Báňský projektant“ a „Technický dozor pro ČPHZ“ a také odborným znalcem ČBÚ pro ČPHZ. V současnosti je rovněž předsedou tunelové sekce při České silniční společnosti.

V letech 1983 až 1993 byl zaměstnán jako projektant u fy Železniční stavitelství Brno. Hlavním předmětem jeho projektové činnosti bylo speciální zakládání staveb, sanace sesuvů a rovněž sanace železničních tunelů, v dané době jeden z mála aktivních a prosperujících oborů tunelářství. V období 1991 až 1993 byl vedoucím specializovaného střediska ŽS Brno pro sanace betonu.

V roce 1993 přechází do nově založené firmy AMBERG Engineering Brno a.s., dcery věhlasného švýcarského inženýrského podniku působícího především v podzemním stavitelství. Zde pracuje nejdříve jako vedoucí projektant a od roku 2001 je jmenován ředitelem společnosti a současně členem představenstva.

Za jeho účasti nebo pod jeho vedením byly vypracovány úspěšné projekty novostaveb a rekonstrukcí významných silničních a železničních tunelových staveb v České republice – např. Pisáreckého tunelu v Brně (první tunel dálničního typu v ČR), tunelů Jihlava a Klimkovice, Královopolského tunelu v Brně, zmáhání závalu a dokončení rekonstrukce tunelu Jablunkovského etc. etc., stejně jako řady stavebních realizací v zahraničí.

Ing. Vlastimil Horák má také velmi dobrý vztah k technickému vysokému školství. Ve firmě AE Brno zaměstnává téměř 20 absolventů především FAST VUT v Brně, řadu let poskytuje ze zdrojů firmy studentům oboru Konstrukce a dopravní stavby praktická zadání bakalářských a především diplomových prací a je také jejich objektivním oponentem. Na Ústavu geotechniky pravidelně zasedá i jako člen státní závěrečné komise.

Je publikačně činný jako autor a spoluautor řady odborných statí v časopisech a sbornících konferencí. V tomto smyslu je v neposlední řadě rovněž spoluautorem knihy „Sanace tunelů“, společně s FAST VUT byl řešitelem projektu TAČR „Sanace tunelů – technologie, materiály a metodické postupy“, autorsky se velmi významně podílel na dokumentární knize o Královopolském tunelu a na publikaci CzTA „Podzemní stavitelství v České republice“ etc.

V profesním životě přejeme do budoucna jemu i firmě pod jeho vedením především mnoho dalších zajímavých a úspěšně dokončených projekčních zakázek v segmentu podzemního stavitelství, jen a jen „šikovně“ zaměstnance a vstřícné a lukrativní zadavatele objednávek. V osobním životě potom přejeme, vedle pevného zdraví a mnoha dalších úspěšných let, i pokračování harmonického partnerského vztahu, hodně dlouhých zajímavých procházek s krásným a chytrým jezevčíkem Siriem a také bohaté a dynamické zážitky z častých vyjížděk na motocyklu Harley-Davidson.

doc. Ing. VLADISLAV HORÁK, CSc.

authorised engineer of the Czech Chamber of Authorised Engineers and Technicians in Construction for the field of geotechnics, a holder of certificate “Mine designer” and “Technical Supervisor for underground activities carried out in mining-like way” and also a State Mining Administration expert witness for underground activities carried out in mining-like way. At the moment he is in addition the chairman of the tunnel construction section of the Czech Road Society.

From 1983 to 1993, he was employed in the position of a designer in the railway construction company of Železniční stavitelství Brno. The main subject of his designing activities comprised specialist foundations, stabilisation of landslides and also rehabilitation of railway tunnels, which was one of few active and prosperous branches of tunnel construction engineering. In the period 1991 to 1993, he was the head of a department of the company of ŽS Brno specialised in rehabilitation of concrete structures.

In 1993, he transferred to the newly founded company of AMBERG Engineering Brno a.s., a branch of the famous Swiss engineering company active first of all in underground construction. Here he worked at the beginning in the position of chief designer. In 2001, he was appointed the director of the company and a member of the Board of Directors.

Successful designs for new structures and reconstruction of important road and railway tunnels in the Czech Republic, for example the Pisárky tunnel in Brno (the first motorway-type tunnel in the CR), the Jihlava and Klimkovice tunnels, the Královo Pole tunnel in Brno, recovery of the collapsed Jablunkov tunnel and completion of its reconstruction etc., as well as numerous civil engineering projects abroad, were carried out with him participating or under his leadership.

Ing. Vlastimil Horák in addition has a good relationship with technical university education. In the company of AE Brno, he employs nearly 20 graduates, first of all from the Brno University of Technology, for many years has provided students of the Construction and Traffic Structures department with practical topics for bachelor theses and, first of all, diploma theses, from company's own sources and has been also their objective opponent. He in addition regularly sits as a member of the state final commission at the Geotechnical Institute.

He is active in the field of publication as an author and co-author of numerous technical articles in journals and conference proceedings. In this sense, he is, at last but not least, also the co-author of the book “Tunnel Rehabilitation”; together with the Brno University of Technology he solved the Technology Agency of the Czech Republic project “Rehabilitation of tunnels – technologies, materials and methodological procedures”; he significantly participated as a co-author in the documentary book on the Královo Pole tunnel and in the CzTA publication “Underground Construction in the Czech Republic”, etc.

In the professional life, we wish him and the company he is in charge of, first of all lots of new interesting and successfully completed design orders in the segment of underground construction, only and only “skilful” employees and accommodating and lucrative clients. In the private life, we wish him, in addition to great health and many successful years to come, even the continuation of the harmonious marital relationship, many long and interesting rambles with his nice and clever dachshund Sirius, an also rich and dynamic experiences from frequent Harley-Davidson motorcycle rides.

doc. Ing. VLADISLAV HORÁK, CSc.

ING. MARTIN SRB, PH.D. – 60 LET CENG. MARTIN SRB, PH.D. – 60 YEARS OLD

Začátkem května 2019 oslaví 60 let Ing. Martin Srb. Připomenutí tohoto jubilea dostal na starost prof. Matouš Hilar, který se rozhodl udělat s jubilantem rozhovor. Nejprve budou stručně zmíněny základní profesní údaje jubilanta. Ing. Martin Srb dokončil FSv ČVUT (obor KD) v roce 1983, po studiu nastoupil do Metrostavu, kde se podílel na výstavbě trasy metra B. Od r. 1990 pracoval u rakouské firmy D2 Consult, od r. 1998 vede její českou pobočku, která se v r. 2012 změnila na 3G Consulting Engineers. Jako projektant a konzultant pracoval na tunelech v Evropě, Severní i Jižní Americe a v Asii. V roce 2017 získal titul Ph.D. na FSv ČVUT. Má autorizaci v oboru geotechnika a je dlouhodobě aktivní v České tunelářské asociaci CzTA i v té mezinárodní ITA-AITES.



MH: Je to možné? ☺

MS: Hm, také se občas divím, ještě nedávno jsem byl na všech jednáních nejmladší.

MH: A jaké to je?

MS: Za chvíli uvidíš sám. Začínáš bilancovat, nehrneš se do všeho po hlavě a chápeš, že něco změnit, zlepšit, posunout v našem oboru a prostředí je běh na dlouhou trať. Snažím se s tím žít a nemít do budoucna přehnaná očekávání.

MH: Ale něco se ti snad podařilo, ne?

MS: Určitě, záleží ale na tom, jaké jsi měl představy. U nás doma, tím myslím v Čechách a na Slovensku, jsem docela spokojený s několika projekty, u kterých jsme byli. Například tunely na SOKP 514, tam jsme byli jak u ražby průzkumné štoly a jejího vyhodnocení, tak u zadávacích podmínek pro tunely a u jejich realizace. Podařilo se tam definovat podmínky, které odpovídají duchu NRTM, to znamená, že je možné optimalizovat ražbu a přitom na tom zhotovitel neprodělá. Bohužel se to nestalo vzorem pro další tunely.

Právě dokončený tunel Ejpvovice nese také pozitivní stopu našeho společného úsilí. Investorovi, který měl zájem (SŽDC, stavební správa Plzeň, dnes západ – pozn. red.), jsme pomáhali s přípravou i realizací a bylo by dobré, kdyby se ty získané zkušenosti neztratily. Zavedla se ve světě standardní organizační struktura stavby s externě prováděným dozorem včetně kontroly projektové dokumentace a dalšími činnostmi. Také se prosadila nejefektivnější metoda výstavby, tj. jeden tunelovací stroj pro oba tunelové tubusy, jsou tam drátkobetonové segmenty, pevná jízdní dráha, zredukoval se počet propojek na evropský standard. Mohlo by toho být víc, ale bylo to umění možného.

MH: A další?

MS: Na Slovensku se povedl tunel Považský Chlmec na dálnici D3 u Žiliny. Pro zhotovitele jsme pomáhali vyhodnocovat podmínky ražby pro nabídku a při realizaci optimalizovat ražby v rámci smluvních podmínek podobných D&B (design-build). Je to myslím jediný projekt na Slovensku, se smluvními podmínkami D&B, podobnými tzv. Žlutému Fidicu, kde se podařilo využít prostoru

At the beginning of May 2019 CEng. Martin Srb will celebrate the 60th anniversary of birth. Commemoration of this anniversary was entrusted to Prof. Martin Hilar, who decided to do an interview with the jubilarian. Basic professional data on the jubilarian will be briefly mentioned first. CEng. Martin Srb finished his studies at the Faculty of Civil Engineering of the Czech Technical University (Civil Engineering and Traffic Structures specialisation) in 1983. Subsequently he entered the company of Metrostav, where he participated in the construction of metro Line B. From 1990 he worked with the Austrian company D2 Consult and from 1998 is in charge of its Czech branch, which was converted into 3G Consulting Engineers in 2012. He worked on tunnels in Europe, North and South Americas and Asia in the position of a designer and consultant. In 2017 he was awarded the Ph.D. title at the Faculty of Civil Engineering of the Czech Technical University in Prague. He has authorisation for the geotechnical branch and has been for a long time active in the Czech Tunnelling Association as well as the international ITA-AITES.

MH: Is it possible? ☺

MS: Hm, I am also sometimes surprised. It was even recently that I was the youngest person at all meetings.

MH: And how is it?

MS: After a while you will see yourself. You start to balance, not go head-to-head to everything and understand that changing, improving something or shifting it ahead is a long time run in our profession. I try to live with it and have no exaggerated expectations for the future.

MH: But I believe that you have succeeded in something, haven't you?

MS: Of course, it depends on the notions you had. At our home, I mean in Bohemia and Slovakia, I am quite content with several projects we participated in. For example, the Prague City Ring Road SOKP 514. We worked on the excavation of the exploratory gallery and the assessment of the results, and on tender conditions for the tunnels and their realisation. Contractual conditions corresponding to the spirit of the NATM were successfully defined there, which means that it was possible to optimise the tunnel excavation and, at the same time, the contractor did not suffer a loss. Unfortunately, it has not become a model for other tunnels.

The just completed Ejpvovice tunnel also carries a trace of our common effort. We helped the project owner (Railway Infrastructure Administration, state organisation, Civil Engineering Administration Plzeň – editorial note) who was interested with the preparation and realisation of the project. It would be good if the gathered experience is not lost. A standard organisation structure with externally conducted supervision including checking on design documents and other activities has been established in the world. Even the most effective method of construction using one tunnel boring machine for both tunnel tubes, steel fibre reinforced concrete segments and slab tracks was pushed through, the quantity of cross passages was reduced to the European standard. More things could be achieved, but it was the art of impossible.

MH: And how about others?

MS: In Slovakia, the Považský Tunnel on the D3 motorway near Žilina was a success. We helped the contractor to assess the tunnel excavation conditions for the tendering purpose and to optimise the excavation within the framework of the contract conditions similar to the D&B (design-build) conditions. It is in my opinion the only project in Slovakia with D&B conditions similar to the FIDIC Yellow Book where the space left for the contractor for optimisation

ponechaného zhotoviteli pro optimalizaci projektu. Byla tam konstruktivní spolupáce všech stran, bez toho to nejde. Projekt se realizoval a zprovoznil velmi rychle, v podstatě podle předpokladu, s ekonomickými přínosy pro obě strany, tedy zhotovitele i investora.

MH: A co vzdálenější cizina?

MS: Hned po sametové revoluci mě zaměstnavatel (*Metrostav – pozn. red.*), umožnil vyjet do Rakouska, kde jsem pak po vzájemné dohodě zůstal. Přišlo to náhle a díky jazykové vybavenosti a zkušenostem to byl bezproblémový přechod. Ze dne na den jsem se dostal ze země za ostnatými dráty do světa. Projektovat jsem bez velkých zkušeností, ale v zaběhlém systému, dálniční tunely v Turecku, velké, třípruhové, v zeměřské oblasti, včetně všech jednání, kontroly stavby a i dost unikátních řešení vynucených změnami trasy během realizace. Prostě něco, co si asi každý mladý inženýr může přát.

MH: Tureckem to ale neskončilo?

MS: Ne, spíš začalo, Čína (v dobách kdy měla k dnešní úrovni ještě hodně daleko), Indie, Jižní Amerika. Jestli mají tyto rozvojové země nějakou výhodu, tak je to postavení a možnosti odborníka rozhodovat bez byrokratických omezení. Možnost dělat rozhodnutí založená na technickém posouzení problému a pak ta rozhodnutí realizovat. Nejdelší silniční tunel v Indii a JV Asii (9 km *Patnitop, Chenani-Nashri tunel v Kašmíru pozn. red.*) jsem natrasoval na základě několikátýdenní práce v terénu a kanceláři. S kolegou Ing. Petrem Svobodou jsme pak prakticky ve dvou, během pár měsíců, vypracovali koncept tunelu včetně technologie, zadávací dokumentaci a v průběhu ražeb jsem pomáhal zhotoviteli. Od roku 2017 je tunel v provozu.

MH: To vypadá dost hezky, dá se to zopakovat?

MS: Asi nedá. Je to ale hezký pomníček. Někdy se tam budu muset podívat, většinu těch exotických tunelů jsem už v provozu nezažil. V každém případě to jsou často náhody, které o těch věcech rozhodují. Setkání s někým, kdo se zeptá, jestli nechceš, telefon z druhého konce světa: „Můžeš příští týden přijet?“ a buď chceš a můžeš, nebo ne. Záleží to na povaze, na okamžitých možnostech, nějaká touha po dobrodružství a něčem exotickém tam asi být musí.

MH: Tak to by byla cizina, teď už nějakou dobu pracujeme spolu, tak vím, že ses snažil zkušenosti a know-how oboru přenést i k nám do Čech. Možná abys sem něco vrátil, když jsi odsud Metrostavu utekl?

MS: No, každý se snaží, jak umí a jak si myslí, že má. V Rakousku jsem se setkal s lidmi, kteří jsou v oboru dobří. Dost nám tady pomáhali a pomáhají. Na projektech, konferencích, s tunelovými semináři, které jsme pořádali a na kterých byli skvělí odborníci, se zpřístupněním svých předpisů, směrnic a jejich publikací u nás. Měl jsem ambice trochu u nás otevřít dveře do světa, ukázat, jak se ta tunelařina dělá jinde a pokusit se se z toho poučit. Dnes už jsou ty dveře otevřené dokořán a v dnešní době se k informacím dostane každý, kdo o to stojí. Snažím se o to, aby se u nás staly standardem postupy, které se ve světě osvědčují, soutěžení se zohledněním kvality, nezávislá kontrola všech stupňů přípravy, kompetentní stavební dozor. Myslím, že by to oboru pomohlo.

MH: A co dál, jak dlouho chceš v té tunelařině zůstat a co ještě ovlivnit?

MS: Hodně lidí kolem mě, nejen spolujubilant profesor Barták,

of the design was successfully used. All parties constructively collaborated there, which was absolutely necessary. The project was realised and opened to traffic very quickly, basically as assumed, with economic benefits for both sides, the contractor and the client.

MH: And how about more distant foreign countries?

MS: Just after the Velvet Revolution, my employer (*Metrostav a. s. – editorial note*) allowed me to go to Austria, where I subsequently, by mutual agreement, stayed. It came suddenly and, owing to my knowledge of the language and experience, it was a smooth transition. From day to day, I got from the state behind barbed wire to the world. I worked on designs without great experience, but in a customary system. Motorway tunnels in Turkey, large triple-lane ones located in an earthquake area, including all negotiations, construction supervision and even quite unique solutions required due to changes of the route during the course of the realisation. It was simply something every young engineer may wish.

MH: But Turkey was not the end?

MS: No, it was rather the beginning. China (in the times when its today's level was far ahead), India, South America followed. If there is some advantage in developing countries, it lies in the status and possibilities of a professional to decide without bureaucratic limitations. The possibility of making decisions based on technical assessment of the problem and subsequently implementing them was great. I designed the route of the longest road tunnel in India and SE Asia (9 km long *Patnitop, Chenani-Nashri tunel in Kashmir – editorial note*) on the basis of several weeks of working in situ and, together with my colleague CEng. Petr Svoboda, we prepared, practically during several months, the tunnel concept including technology and tender documents. During the tunnel excavation I helped the contractor. The tunnel is in operation from 2017.

MH: It looks quite nice, can it be repeated?

MS: Probably it cannot. But it is a nice memory. Once I will visit the places; I did not see the majority of the exotic tunnels in operation. Anyway, decisions on such things are often accidental. You meet somebody who asks whether you would like it, receive a phone call from the other end of the world: “Can you arrive next week?”, and you either would and can or not. It depends on your nature and immediate possibilities. Nevertheless, there must probably be some desire for adventure and something exotic in it.

MH: So foreign countries are over; we have worked together for some time, so I know that you tried to transfer your professional experience and know-how even to the Czech Republic, possibly to return something to compensate for your “escaping” from Metrostav?

MS: Well, everybody tries as much as he can and thinks that he should. In Austria, I met people which were good in the industry. They quite helped and still help us at projects, conferences with tunnel seminars which we organised and which were attended by excellent professionals, with making their regulations, directives available for us and their publications in the Czech Republic. My ambition was to slightly open our door to the world, show how the tunnel construction profession is conducted elsewhere and try to learn a lesson from it. Today the door is already wide open and everybody interested can get to information. I try to help the procedures which have become proven in the world, i.e. competing with the quality taken into account, independent checking on all stages of preparation and competent construction supervision, to become standards in the Czech Republic. I believe that it would help the profession.

MH: And what else? How long do you will to stay in the tunnel construction profession and what else do you wish to influence?

MS: Many people around me, not only the co-jubilant professor

se moc nedívá na ten zákonný věk odchodu do důchodu. Možná dopadnu podobně. Jinak teď je asi hlavní výzva našeho oboru v Čechách vůbec přežít. Ve světě to je rychle se rozvíjející obor a tady nic. Potřebných tunelů na dálnicích i na železnici je u nás dost. Takže pro tebe a mladší jsou na obzoru projekty, kterých se asi dočkáte. Ale v současné době máme jenom trasu metra D, je nějak připravena a musí se konečně začít realizovat. Snažím se novým zodpovědným představitelům města vysvětlovat problematiku a doufám, že za ty celé čtyři roky jejich volebního období se toho udělá víc, než v tom minulém.

MH: A nějaké přání na závěr?

MS: Snad aby si všichni v oboru uvědomili, že máme společný zájem a cíl. Připravovat, realizovat a provozovat technicky kvalitní, ale taky ekonomicky efektivní projekty. Dívat se do světa, umět se poučit z chyb jiných, nejen vlastních. Kriticky přemýšlet, nebát se diskutovat, stát si za svým názorem, ale zvažovat i názory jiné. A samozřejmě přispět k tomu, aby náš obor nebyl spojován s tunelařinou ekonomickou.

MH: Děkuji jubilantovi za rozhovor a do budoucna mu přeji především zdraví a vitalitu, ať mu i nadále vydrží nadšení pro náš obor.

*prof. Ing. MATOUŠ HILAR, Ph.D.,
člen redakční rady*

Barták, do not take the statutory retirement age too much into consideration. I may come out similarly. Otherwise, the current main challenge of our industry in the Czech Republic is probably: at least to survive. In the world, it is a rapidly developing industry, but nothing happens here. Tunnels needed on motorways and railways are numerous here. It means that there are projects on horizon for you and younger people you will probably see. But currently we have only the metro Line D, which is prepared in some way and its realisation has finally to start. I am trying to explain the problems to responsible representatives of the city and believe that during the less than four years of their term more work will be done than in the past term.

MH: And some wishes in the end?

MS: Probably that all people working in the tunnel construction industry realise that all of us have a common goal – to prepare, realise and operate technically good quality, but also economically effective projects. Looking into the world, it is to be able to learn from the mistakes of others, not only of our own ones. To think critically, not to be afraid to discuss, to stand by one's opinion, but also to take into consideration opinions of others. And, of course, to help to make our industry unrelated to the "economic tunnelling" term.

MH: I thank the jubilarian for the chat and wish him first of all great health and vigour, and that his enthusiasm for our industry continues.

*Prof. CEng. MATOUŠ HILAR, Ph.D.,
Member of Editorial Board*

55 LET SPOLEČNOSTI SUBTERRA 55TH ANNIVERSARY OF SUBTERRA FOUNDATION

Subterra belongs among the oldest domestic construction companies. Its beginning is symbolised by the first firing of charges during the excavation of the Želivka water supply tunnel in September 1964. The fifty five years brought numerous changes in the company name, its legal form and ownership. Starting from the branch of Příbram Uranium Mines, through the Želivka branch plant, the national enterprise Underground engineering construction, the concern enterprise Development of uranium mining industry, up to the state-owned company which was assigned the name of Subterra in 1990. The current joint stock company has been part of the Metrostav Group since 2004. The multi-purpose company with four divisions developed from the contractor for underground construction projects. It performs virtually all kinds of buildings and traffic structures, including their technical equipment. During several recent years Subterra has worked more and more frequently abroad. Currently it participates in infrastructural projects in Slovakia, Hungary, Germany or Sweden.

Subterra patří k nejstarším tuzemským stavebním společnostem, její počátky symbolizuje první odpal při ražbě vodovodního přívaděče Želivka v září 1964. Pětapadesát let přineslo četné změny názvu, právní formy i vlastnictví. Od útvaru Uranových dolů Příbram přes jejich odštěpný závod Želivka, národní podnik Podzemní inženýrské stavby, koncernový podnik Výstavba dolů uranového průmyslu až po státní podnik, který v roce 1990 dostal jméno Subterra. Dnešní akciová společnost patří od roku 2004 do koncernu Skupina Metrostav. Z dodavatele podzemních staveb se vyvinula víceoborová společnost se čtyřmi divizemi, která realizuje prakticky všechny druhy pozemních a dopravních staveb a také jejich technické vybavení. V několika posledních letech působí Subterra stále častěji i v zahraničí, aktuálně se podílí na infrastrukturních projektech na Slovensku, v Maďarsku, Německu nebo Švédsku.



*Obr. 1 První odpal na vodovodním přívaděči z Želivky do Prahy
Fig. 1 First firing of charges in the Želivka water supply tunnel from Želivka to Prague*

Od uranových dolů k vodohospodářským stavbám

Podzemní stavitelství v Československu se v prvních dvaceti poválečných letech pojilo s těžbou uhlí a uranu. Báňské organizace zřizovaly od konce 50. let své výstavbové podniky, které prováděly jak důlní práce, tak průmyslové pozemní stavby. V 60. letech bylo třeba najít dodavatele pro plánovanou ražbu více než padesátikilometrového tunelu Želivka, přivádějícího pitnou vodu z vodní nádrže Švihov do Prahy. K realizaci náročného díla se zavázaly Uranové doly Příbram, jež proto zřídily odštěpný závod Želivka. Pozdější národní podnik Podzemní inženýrské stavby se zabýval zakázkami mimo těžbu uranu, ke svému původnímu zaměření se ovšem částečně vrátil v roce 1976 v podobě koncernového a později státního podniku Výstavba dolů uranového průmyslu. Po roce 1990 docház-

zelo k útlumu těžby uranu a podnik, již pod názvem Subterra, začal své působení rozšiřovat do všech oblastí podzemního a pozemního stavitelství. V roce 1992 při první vlně privatizace vznikla akciová společnost.

Tunel Želivka (1964–1972) spojuje úpravnu vody u Soutic s vodojemem u Jesenice. Gravitační přívaděč s monolitickým železobetonovým kruhovým profilem o průměru 2,64 m má délku 51,97 km, která jej řadí na šesté místo na světě. Výška nadloží je od 7 do 176 m, výpočty musely zahrnovat i zakulacení země. Tunel byl vybudován hornickým způsobem, s použitím zhruba tisíce tun trhaviny Perunit. Ražba unikátního díla představovala obtížný úkol pro horníky i geology, ti pak mohli nabyté zkušenosti využít při přípravě a realizaci dalších podzemních součástí vodohospodářských staveb.



Obr. 2 Vodní dílo Přísečnice
Fig. 2 Přísečnice waterworks

K nejvýznamnějším dílům, která Subterra v tomto oboru realizovala, patří oblastní vodovod Přísečnice (1970–1976), tlaková štolá zásobující Chomutov a okolí, při jejíž ražbě se poprvé v tuzemsku uplatnil plnoprofilový stroj, vodní dílo Římov (1971–1978) na Malši zajišťující pitnou vodu pro velkou část jižních Čech, Stanovice (1972–1978) na Lomnickém potoce pro dnešní Karlovarský kraj a Josefův Důl (1976–1984) na Kamenici pro Liberecko a Jablonecko. K později dokončeným stavbám se řadí vodní nádrž Slezská Harta (1987–1997) na Moravici nebo Vírský oblastní vodovod (1988–2000) na Svatce.

Dalším technicky výjimečným projektem, pro společnost Subterra jedním z nejdůležitějších, se stala přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé stráně v Hrubém Jeseníku (1978–1996). Podzemní elektrárna se dvěma Francisovými turbínami o celkovém výkonu 650 MW, jež zajišťuje stabilitu energetické soustavy, využívá půlkilometrového výškového rozdílu mezi horní nádrží na vrcholu hory Mravenečník a dolní nádrží na Divoké Desné. Subterra dodávala

celou podzemní část díla, zejména kaverny pro elektrárnu a trafo-stanici o rozměrech 87×25×50 m, resp. 117×16×21 m, dva potrubní přívaděče z horní nádrže o délce přibližně 1,5 km a průměru 3,6 m, dva vodní tunely do dolní nádrže s celkovou délkou téměř 750 m s průměrem 5,2 m a rovněž 8,5kilometrovou soustavu dalších tunelů.



Obr. 3 Přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé stráně
Fig. 3 Dlouhé Stráně pumped storage scheme

K vodohospodářským stavbám se od roku 1971 řadí i ražené kanalizační sběrače, které si nejprve vyžádal rozvoj pražských sídlišť. Prvním a nejvýznamnějším dílem se stala páteřní stoka K (1971–1979), jež vede pod pravým břehem Vltavy od Branického pivovaru až na Výtoň, kde podchází řeku a pod Petřínem směřuje až do bubenečské ústřední čistírny odpadních vod. Délka stoky přesahuje 11 km, profil obložený berolovými deskami má největší průměr 3,6 m. Subterra realizovala také některé sběrače připojené do stoky K, tj. JZM I a II, Barrandov a levobřežní kunratický sběrač. Nejnovější technologií pro výstavbu kanalizace je mikrotunelovací stroj Isekí, poprvé nasazený při výstavbě stoky Y v Ústí nad Labem v roce 1996 a později například v Karvině (2007–2009), Pardubicích (2011) či Plzni (2012–2013).

Subterra vybuodovala rovněž obě podzemní čistírny odpadních vod na území Česka. Technologie čistírny v Peci pod Sněžkou (1985–1988), umístěné pod povrch s ohledem na ochranu Krkonošského národního parku, se nachází v kaverně o rozměrech 91×13×11 m, ražené Novou rakouskou tunelovací metodou (NRTM). Čistírna v Lokti nad Ohří (1993–1998) v chráněné krajinné oblasti Slavkovský les má dvě kaverny velikosti 25×6/11×9 m.

Mezi technicky výjimečné stavby patří taktéž tlakové uzávěry kavernového zásobníku plynu Háje u Příbrami (1996–1998).

Kabelové tunely a výstavba kolektorových sítí

Počátkem 70. let minulého století bylo třeba v Praze posílit a zálohovat rozvody vysokého napětí 110 kV a 22 kV, zejména v souvislosti s výstavbou metra. Tradiční ukládání kabelů do tvárniceových tras naráželo na překážky v podobě stávající technické infrastruktury. Řešení, u jehož zrodu stála Subterra, představovaly kabelové tunely budované v centru hlavního města v letech 1972–1985. Celková délka sítě dosáhla téměř 15 km, šlo o kabelové tunely (KT) střed včetně prodloužení, KT jih, Holešovice a Pražka.

Kabelové tunely byly raženy buď konvenčně s použitím trhavin, nebo plnoprofilovými stroji. Definitivní ostění z monolitického železobetonu má kruhový tvar o průměru 2,16–2,64 m, při jeho realizaci se postupně uplatňovaly nové technologie jako fóliová hydroizolace nebo antikorozi ochrana výztuže tryskanou metalizací.

Od poloviny 80. let byly v Praze samostatné kabelové trasy budovány jen výjimečně, elektrorozvody se staly součástí sítí ukládaných do moderních sdružených tras – kolektorů.

Přibývajících rekonstrukce a modernizace budov ve velkých městech přinášely zvýšené nároky na kapacitu inženýrských sítí. Rekonstrukce, výstavba a havárie potrubí či kabelů ovšem narušovaly povrch ulic a tím komplikovaly chod města. V centrálních částech největších sídel proto začala výstavba podzemních tras pro společné uložení všech rozvodů, tunely byly zpravidla raženy NRTM. Subterra se od poloviny 70. let zásadní měrou podílela na vzniku a rozvoji tuzemských kolektorových sítí, nejprve v Brně a následně i v Praze a Ostravě.

V Brně Subterra budovala v letech 1976–1994 kolektory II. kategorie. Jde o dva propojené okruhy v celkové délce 7,8 km vedené v hloubce až 30 m, jeden kolem historického jádra a druhý v průmyslové zóně. Ražené kolektory III. kategorie z let 1995–2000, v nichž je uložena i kanalizace, se nacházejí v menších hloubkách okolo 6 m a jejich délka dosahuje 6 km. V letech 2003–2005 byla síť sekundárních kolektorů v brněnském centru rozšířena v rámci projektu ISPA.

V Praze začala výstavba kolektorové sítě v roce 1985 a v současnosti dosahuje její délka v centru města přibližně 20 km. Subterra se na realizaci podílela z více než 90 %. Kolektor Centrum I (1985–2002) je páteřní trasou II. kategorie, v délce necelých 4 km probíhá v hloubce zhruba 30 m. Mezi kolektory III. kategorie patří Celetná (1985–1988), Tylovo divadlo (1988–1991), Rudolfinum (1990–1992), Centrum I.A (1994–1998), Příkopy (1997–2000), Vodičkova (2003–2007) a rovněž Václavské náměstí A, B a C (2003–2009).



Obr. 4 Kolektor Centrum I.A, Vodičkova, Praha
Fig. 4 Centrum I.A utility tunnel, Vodičkova Street, Prague

Nejnovější součástí pražské sítě je kolektor Hlávkův most (2016–2018). Trasa II. kategorie o délce 418 m prochází v hloubce 15–20 m pod vltavským dnem a spojuje Těšnov s Holešovicemi. Součástí kolektoru jsou čtyři šachty, dvě technické komory a hloubená odbočná větev na Štvanici. Ražby NRTM se musely vypořádat s třemi odlišnými horninovými prostředími i podzemní vodou.

Na ostravských kolektorech pracovala Subterra od konce 90. let. Kolektor Poděbradova (1997–1999) je téměř 800metrovou trasou III. kategorie v historické části města, na niž navazuje kolektor Centrum (2003–2005). Součástí projektu ISPA představovalo rozšíření kanalizačního systému, Subterra zajišťovala rovněž kompletní sběračů. Při ražbě kanalizačního sběrače F ve Staré Bělé byl nasazen mikrotunelovací stroj Iseki.

Tunely pro silnice, železnice i metro

Subterra od svých počátků pořizovala a zčásti i vyvíjela vyspělé tunelářské technologie. Šlo zejména o plnoprofilové razicí stroje, předchůdce dnešních TBM. Zkušenosti s realizací vodohospodářských a infrastrukturních podzemních staveb využila i v polistopadovém období, kdy se podílela na realizaci mnoha dalších významných projektů. Jednou z nových oblastí činnosti se staly dopravní tunely, ražené většinou NRTM.



Obr. 5 Pisárský tunel, Pražská radiál, VMO Brno
Fig. 5 Pisársky tunnel, Prague Radial Road, LCRR Brno

Od poloviny 90. let stavěla Subterra silniční tunely ve městech i na dálnicích. Pisárský tunel v Brně (1995–1998) je prvním městským tunelem dálničního typu v Česku, délka převážně ražených tubusů činí 512 a 497 m. Tunel Mrázovka v Praze (1998–2004), Dopravní stavba roku 2005, tvoří část Městského okruhu, jeho tubusy měří 1298 m, resp. 1264 m. Tunel Klimkovice (2004–2006) na dálnici D47, Dopravní stavba roku 2008 a Stavba Moravskoslezského kraje 2009, má délku 1088, resp. 1076 m. Brněnský Královopolský tunel (2006–2012) pod ulicí Dobrovského, s tubusy o délce 1237 a 1258 m, představuje důležitý a na realizaci náročný úsek Velkého městského okruhu. Projekt získal ocenění Stavba Jihomoravského kraje 2012 a Stavba roku 2013. Na pražském Městském okruhu se nachází Komořanský tunel (2007–2009) s délkou 1937, resp. 1924 m, jehož výstavbě předcházela ražba průzkumné štol. Tunel Prackovice (2008–2009) s tubusy o délce 270 a 260 m v Českém středohoří je součástí dálnice D8, rovněž zde Subterra realizovala průzkumnou štolu. Komplexní inženýrskogeologický průzkum v současnosti probíhá také v trase pražské Radlické radiály, kde byla ve dvou etapách vyražena průzkumná štol (2014–2017) v celkové délce 1030 m.

Od počátku 21. století pracovala Subterra na výstavbě či rekonstrukci desítky železničních tunelů, zpravidla šlo o součást modernizovaných, napřímených tratí. Na trati Zábřeh na Moravě – Česká Třebová se nacházejí Krasíkovské tunely (2002–2004), Krasíkov s 1101 m a Tatenice se 143 m, a rovněž tunely Malá Huba a Hněvkov II (2004–2006), které měří 324, resp. 180 m. Zásadní stavbou pro železniční dopravu v Praze se stalo Nové spojení (2004–2010), díky němuž jsou provázána všechna nádraží v hlavním městě. Pod Vítkovem procházejí dva dvoukolejné tunely o délce 1364 a 1316 m. Součástí modernizace trati Votice – Benešov u Prahy (2009–2013) byly i čtyři ražené tunely. Olbramovický měří 480 m,

Zahradnický 1044, Tomice I 324 m a Tomice II 252 m. Na trati mezi státní hranicí SR, Mosty u Jablunkova a Bystřicí nad Olší, byl přestavěn Jablunkovský tunel II (2008–2011) o délce 612 m. Předmětem další náročné rekonstrukce s rozšířením profilu se stal 230metrový Teplický tunel (2015–2016) na trati Trutnov – Teplice nad Metují.



Obr. 6 Jablunkovský tunel, Optimalizace trati státní hranice SR – Mosty u Jablunkova – Bystřice nad Olší

Fig. 6 Jablunkov tunnel, Optimisation of railway track between Slovakian state border – Mosty u Jablunkova – Bystřice nad Olší

Subterra se podílela rovněž na budování pražského metra. V úseku IV.C1 Nádraží Holešovice – Ládví (2000–2002) šlo o ražený dvoukolejný tunel o délce 1700 m, hloubená část měří 96 m. Na prodloužení stejné trasy, IV.C2 Ládví – Letňany (2004–2008), které se stalo Dopravní stavbou roku 2008, byl realizován 970 m dlouhý úsek a také část stanice Letňany. Nejnovější částí metra je prodloužení trasy A Dejvická – Nemocnice Motol (2010–2015), kde Subterra stavěla stanici Nádraží Veleslavín. Zde byla poprvé v Praze trojpodlažní stanice ražena NRTM.

Oceňované novostavby a obnova významných památek

V roce 1995 založila Subterra divizi pozemních staveb, která realizuje všechny jejich typy – bytové, občanské i průmyslové, dále buduje například čistírny odpadních vod. Kromě novostaveb a rekonstrukcí se zabývá také obnovou historických objektů včetně nejvýznamnějších tuzemských památek.

Subterra realizovala několik budov navržených nejlepšími tuzemskými architekty, jež získaly titul Stavba roku či další ocenění. V roce 2016 obsadila druhé místo v Ratingu Nadace pro rozvoj architektury a stavitelství (RABF) za období 2013–2015, který představuje bodové hodnocení kvality dodavatelů na základě úspěchů v soutěži Stavba roku.

K nejdůležitějším novostavbám posledních let náleží stanice pražského metra Nádraží Veleslavín (2010–2015), Svět techniky v Ostravě (2012–2014), která získala Cenu veřejnosti v soutěži Stavba roku 2014, přístavba ZŠ Dobřichovice (2012–2014), Stavba roku 2015, Zoo pěti kontinentů v Jihlavě (2011–2015) a zimní hala Škoda Icerink v Praze (2017–2018), Stavba roku 2018.

Mezi významné památkově chráněné objekty, na jejichž obnově se Subterra podílela, se řadí pražská Hergetova cihelna (2001–2002), Staroměstská radnice a přilehlé historické domy (2009–2010), zámek Roztoky (2011–2012), pražské Klementinum (2012–2017) nebo věž Staroměstské radnice (2017–2018). V hlavní městě probíhá od roku 2018 revitalizace Clam-Gallasova paláce.

Více než dvacet let na železniční

V roce 1997 rozšířila Subterra svůj výrobní program o železniční stavby, které se pro ni postupem času staly jedním z nejvýznamnějších segmentů. Společnost disponuje moderním technickým vybavením pro výstavbu, modernizaci a rekonstrukci tranzitních koridorů i regionálních tratí. Kromě standardního železničního svršku se šterkovým ložem realizuje i pevnou jízdní dráhu systému ÖBB-PORR. Divize dopravních staveb sídlí jako jediná mimo hlavní město, v jihomoravském Tišnově, a kromě železničních tratí zajišťuje například výstavbu protihlukových stěn nebo likvidaci ekologických zátěží a rekultivaci bývalých průmyslových území.

První modernizovanou koridorovou tratí se stal úsek Hodonín – Moravský Písek (1997–1999), dalšími významnými projekty byly úseky Krasíkov – Česká Třebová (2002–2005), Zábřeh na Moravě – Krasíkov (2004–2006), Dopravní stavby roku 2005, resp. 2006, dále Břeclav – státní hranice SR (2004–2007), Červenka – Zábřeh na Moravě (2005–2008), Plzeň – Stříbro (2006–2009), Doubí u Tábora – Tábor (2006–2009), Dopravní stavba roku 2009, Bystřice nad Olší – Český Těšín (2009–2012), Zbiroh – Rokycany (2009–2012), Votice – Benešov u Prahy (2009–2013), Dopravní stavba roku 2013, a Praha-Bubeneč – Praha-Holešovice (2012–2016), dílo ohodnocené Cenou SFDI 2015. Od roku 2016 je modernizován úsek Beroun – Králův Dvůr, od roku 2017 Český Těšín – Dětmárovice.



Obr. 7 Pevná jízdní dráha, tunel Ejpvovice, MTÚ Rokycany – Plzeň

Fig. 7 Slab track, Ejpvovice tunnel, modernisation of Rokycany – Plzeň track

Nejnovějším dokončeným projektem je modernizace trati Rokycany – Plzeň (2013–2018), jejíž součástí je nejdelší tuzemský železniční tunel Ejpvovice, jenž měří 4150 m. Subterra v obou tunelech položila pevnou jízdní dráhu systémem ÖBB-PORR, řešení železničního svršku spočívající v uchycení kolejnic k prefabrikovaným železobetonovým deskám. Tato technologie byla poprvé v tuzemsku využita při rekonstrukci Střelenského tunelu (2011–2013) na trati Horní Lideč – státní hranice SR, jež získala Cenu SŽDC 2014.

Subterra se podílela na úpravách mnoha dalších celostátních i regionálních železničních spojnic, v posledních letech šlo například o trati Ostrov nad Oslavou – Sklené nad Oslavou (2014–2015), Klatovy – Železná Ruda (2014–2016), Brno-Maloměřice – Brno-Královo Pole (2015–2016), Brno-Královo Pole – Kuřim (2015–2016), Frýdlant nad Ostravicí – Valašské Meziříčí (2015–2016), Břeclav – Znojmo (2017) či o rekonstrukci stanice Kuřim (2017–2018).

Mezi kolejové dopravní stavby patří rovněž výstavba pražské tramvajové trati Hlubočepy – Barrandov (2001–2004), Stavba roku 2004, nebo rekonstrukce tramvajové trati Evropská (2013).

Technologie pro budovy i infrastrukturní projekty

Subterra od roku 2008 dodává rovněž technické zařízení budov a technologické celky velkých staveb, například tunelů. Kromě všech druhů instalací zajišťuje i certifikovanou technologii samočinného hasicího zařízení na vodní bázi. Divize TZB realizuje také inženýrské sítě a menší dopravní stavby.

K nejdůležitějším zakázkám z oblasti technického zařízení budov patří několik pražských projektů, například obchodně-administrativní centrum Florentinum (2012–2013), administrativní budovy Aviatica (2014–2015) a Mechanica (2016–2017) v areálu Waltrovka, obchodní centrum Chodov (2016–2018) nebo administrativní soubory Palmovka Park II (2012–2013) a Palmovka Open Park (2017–2018).

V oblasti infrastrukturních projektů zajišťovala Subterra technické vybavení tunelového komplexu Blanka (2012–2014), trasy metra V.A Dejvice – Motol (2013–2015), tunelů Prackovice a Radejčín na dálnici D8 (2014–2016) nebo rekonstrukci pražské čerpací stanice odpadních vod Hrdlořezy (2016–2017).



Obr. 8 Technologie při výstavbě prodloužení metra V.A Dejvická – Motol, Praha

Fig. 8 Technology used for construction of metro line V.A Dejvická – Motol, Prague

Rozsáhlé zakázky v několika evropských zemích

Zahraniční působení Subterra zahájila již v 80. letech, kdy v tehdejší Jugoslávii razila vodovodní přívaděč Batlava (1982–1983). Po roce 1990 přibýly další země. V Německu se společnost podílela zejména na výstavbě silničního tunelu Löwenherz (1993), železničního tunelu Niederhausen (1999–2000) a nouzové štoly pro železniční tunely Eurwang a Irlahüll na rychlodráze Ingolstadt – Norimberk (1999–2000). Ve Španělsku šlo například o převedení vodoteče u města Meirama (1991–1992), o odvodňovací tunel La Coruña, úpadní štolu do dolu Coto Cortés a zejména o strojní ražbu tunelů pro dopravu v dole Figaredo (1990–1997). Další zakázky realizovala Subterra i v zemích bývalé Jugoslávie, v Chorvatsku vybudovala dálniční tunely Plasina (2002–2004) a Tuhobić (2006–2007), v Srbsku pak tunel Bancarevo (2012–2017).

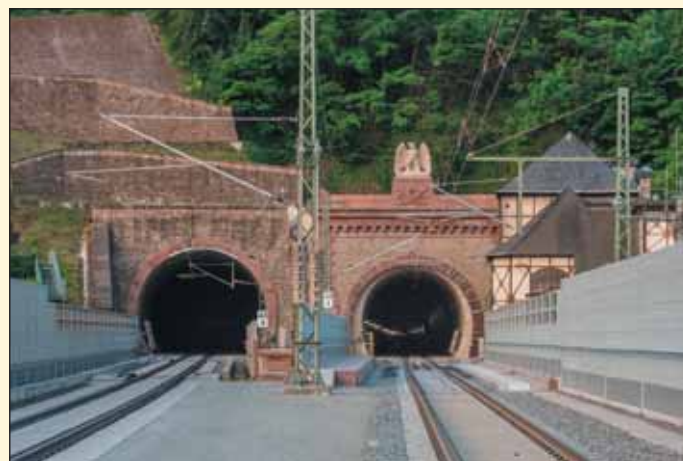
Na zahraničních trzích dnes působí Subterra a.s. prostřednictvím svých organizačních složek, v Maďarsku a Švédsku byly kromě nich založeny i dceřiné společnosti; v prvním případě jde o sto-percentní majetkovou účast ve společnosti Subterra Raab Kft.,

v druhém o smíšenou česko-švédskou společnost SBT Sverige AB. Činnost v Německu je založena na spolupráci se sesterskou společností BeMo Tunnelling.

Na Slovensku se Subterra podílela na ražbě průzkumné štoly pro tunel Poľana (2006–2007) a také na modernizaci trati Piešťany – Nové Mesto nad Váhom (2006–2009). Od roku 2017 patří k dodavatelům modernizace trati Púchov – Považská Teplá, největší investice v historii samostatných slovenských železnic. Subterra razí 1861metrový dvoukolejný tunel Milochoy.

Prvním maďarským projektem byla modernizace trati Budapešť–Kelenföld – Tárnok (2011–2013). Navazovala výstavba 18 mostů na dálnici M43 (2013–2014), modernizace železničního uzlu Székesfehérvár (2014–2016) a silniční obchvat Várpaloty (2014–2018). Roku 2018 zahájila Subterra práce na rychlostní silnici M85.

V Německu byla důležitou zakázkou rekonstrukce více než čtyřkilometrového železničního tunelu Alter Kaiser-Wilhelm (2014–2015). Následovala spolupráce s BeMo Tunnelling; příkladem jsou železniční tunel Zierenberg (2016–2017) nebo podzemní tramvajová trať v Karlsruhe (2016–2017). V současnosti, od roku 2017, je to výstavba dálničních tunelů Spitzenberg a Herrschaftsbuck.



Obr. 9 Rekonstrukce železničního tunelu Alter Kaiser-Wilhelm, Německo

Fig. 9 Reconstruction of the Alter Kaiser-Wilhelm railway tunnel, Germany

Působení ve Švédsku zahájila Subterra realizací přístupových tunelů Sättra a Skärholmen (2016–2017) pro nově budovaný dálniční obchvat Stockholmu. V roce 2017 pak dceřiná společnost získala zakázku na hlavní tunel Skärholmen, který se celkovou osmikilometrovou délkou svých tubusů řadí k největším zahraničním zakázkám tuzemských stavebních společností. SBT Sverige AB se v současné době rovněž zapojuje do projektů spojených s rozšířením sítě stockholmského metra. Zde vloni získala první zakázku na přístupový tunel Veddesta.

Vzhledem k situaci na tuzemském stavebním trhu lze předpokládat, že převážnou část velkých podzemních infrastrukturních projektů bude Subterra i v nejbližších letech realizovat hlavně v zahraničí. Nicméně to neznamená, že není připravena uplatnit své zkušenosti a kapacity rovněž na domácí půdě.

Ing. JAN VINTERA,
jvintera@subterra.cz,

Ing. JIŘÍ NOVÝ,
jnovy@subterra.cz, Subterra a.s.

ROZLOUČENÍ LAST FAREWELL

NAVŽDY ODEŠEL PROF. ING. JOSEF ALDORF, DRSC.
PROF. ING. JOSEF ALDORF, DRSC. LEFT FOREVER

Dne 22. 3. 2019 nás navždy opustil dlouholetý aktivní a respektovaný člen redakční rady časopisu Tunel a České tunelářské asociace, pedagog, vědecko-výzkumný pracovník a výjimečný člověk prof. Ing. Josef Aldorf, DrSc.

Pro své široké znalosti, zkušenosti a mimořádné inženýrské myšlení byl vyhledávaným odborníkem jak pro řešení komplikovaných problémů hornictví v ostravsko-karvinském revíru i povrchových hnědouhelných dolů, tak i pro oblast geotechnického a podzemního stavitelství, významně se zapojoval do procesu projektování i realizace řady tunelových staveb v České republice. Za mimořádné zásluhy o české podzemní stavitelství se stal držitelem pamětní medaile České tunelářské asociace. V současnosti byl jejím čestným členem, v předchozím období zastával rovněž pozici v předsednictvu asociace a aktivně se podílel na její činnosti a rozvoji.

Profesní život pana profesora Aldorfa byl neodmyslitelně spjat s Vysokou školou báňskou – Technickou univerzitou Ostrava, kde působil nepřetržitě od ukončení svých vysokoškolských studií v roce 1962 až do současné doby. Na této univerzitě získal postupně docentský a profesorský titul a titul doktora věd, v roce 2017 ocenila univerzita celoživotní přínos pro její rozvoj, prosperitu a šíření jejího dobrého jména profesora Aldorfa prestižním oceněním Stopa absolventa.

Na Hornicko-geologické fakultě vystudoval obor zaměřený na výstavbu dolů, po vzniku Fakulty stavební byl iniciátorem transformace oboru Výstavba dolů do oboru Geotechnika a podzemní stavitelství, jehož byl dlouholetým garantem a který všemi svými silami úspěšně rozvíjel.

Pane profesore, budete nám všem moc chybět nejen jako vynikající odborník, ale i jako skvělý člověk s lidským, vstřícným a laskavým přístupem. Ztrácíte se našim očím, ale navždy zůstanete v našich srdcích a vzpomínkách. Za vše Vám za celou redakční radu a Českou tunelářskou asociaci vyjadřuji velký dík.

doc. RNDr. EVA HRUBEŠOVÁ, Ph.D.



On 22nd March 2019, Prof. Ing. Josef Aldorf, a long-lasting active and respected member of the TUNEL Editorial Board and the Czech Tunnelling Association, pedagogue, researcher and exceptional human, left us forever.

For his broad knowledge, experience and exceptional engineering thinking he was a sought-after expert not only in solving complicated problems of mining in the Ostrava-Karviná coal-mining district and brown coal open cast mines, but also in the field of geotechnical engineering and underground construction. He significantly involved himself in the process of designing and realisation of numerous tunnel construction projects in the Czech Republic. He was a holder of the commemorative medal of the Czech Tunnelling Association, which was awarded to him for the exceptional merit for Czech underground construction industry. Currently, he was its honourable member, whereas in the past, he even held a position in the association's Board and actively participated in its work and development.

The professional life of professor Aldorf was inherently connected with the VSB – Technical University of Ostrava, where he worked continually from the completion of his university studies in 1962 until now. At this university, he obtained an Associate Professor and Professor degree and the degree of Doctor of Science. In 2017, the university appreciated professor Aldorf's lifelong contribution to its development, prosperity and spreading of its good name by the prestigious award Graduate's Trace.

At the Faculty of Mining and Geology he graduated from the specialisation on development of mines. After the origination of the Faculty of Civil Engineering he was the initiator of the transformation of the specialisation of the Development of Mines into the specialisation of Geotechnical Engineering and Underground Construction Engineering, for which he was a long-standing guarantor and which he was successfully developing with all his forces.

Professor Aldorf, we will miss you all not only as an outstanding expert, but also as a great guy with a human, helpful and amiable attitude. You are disappearing from our eyes, but you will stay in our hearts and memories forever. I would like to express great thanks to you on behalf of the whole Editorial Board and the Czech Tunnelling Association.

doc. RNDr. EVA HRUBEŠOVÁ, Ph.D.

PAMÁTKA ING. JIŘÍHO SMOLÍKA
TO THE MEMORY OF ING. JIŘÍ SMOLÍK

Když jsem v loňské gratulaci k osmdesátým narozeninám děkoval Ing. Jiřímu Smolíkovi za jeho přínosy pro obor podzemního stavitelství a za činnost ve prospěch naší asociace, tak jsem vyslovil i upřímné přání, aby všechny jeho aktivity trvaly ve zdraví a pohodě ještě řadu dalších let. Netušil jsem, že osud rozhodne úplně jinak. Za necelý rok se s Jiřím Smolíkem loučíme a zůstane uchován již jen v našich vzpomínkách.



When I was thanking Ing. Jiří Smolík, on the occasion of his eightieth birthday, for his contributions to the field of the civil engineering industry and for his work in favour of our association, I expressed a sincere wish that all his activities continued, with him enjoying good health and comfort, for many further years. I did not suspect that the fate would decide completely differently. After less than a year, we are parting with him and he will remain only in our memories.

In the companies of VDUP (development of uranium mines) and subsequently Subterra, Ing. Smolík participated in the preparation and realisation of numerous important projects without interruption for nearly fifty years. Apart from professional engineering activi-

Ing. Smolík se ve společnosti VDUP a následně ve společnosti Subterra podílel na přípravě i realizaci řady významných projektů, a to nepřetržitě téměř padesát let. Vedle odborné inženýrské činnosti se velmi aktivně věnoval po dvacet let i dalším činnostem úzce souvisejícím s oborem podzemního stavitelství. Od roku 1992 byl individuálním členem CzTA, pravidelně byl členem přípravných výborů konference Podzemní stavby Praha, včetně v současnosti připravované konference v roce 2019. Jeho dlouholetá aktivita byla v roce 2013 oceněna udělením Pamětní medaile CzTA ITA-AITES. Ing. Smolík byl členem Rady České silniční společnosti a od roku 1995 organizoval velmi aktivně a neúnavně činnost tunelové sekce ČSS. Nelze opominout ani jeho působení v redakční radě časopisu Silniční obzor s trvalou snahou o uveřejňování článků s tematikou podzemního stavitelství.

Jeho téměř šedesátileté působení v české tunelářské komunitě nemůže být zapomenuto. Poděkování za jeho celoživotní přínos oboru podzemního stavitelství, které si dovoluji vyslovit jménem všech členů CzTA ITA-AITES i členů tunelové sekce České silniční společnosti, už Jiří Smolík neuslyší. K uctění jeho památky však toto symbolické poděkování nás všech muselo zaznít.

prof. Ing. JIŘÍ BARTÁK, DrSc.

ties, he dedicated himself very actively for 20 years even to other activities closely associated with the underground construction industry. From 1992, he was an individual member of the CzTA, was regularly a member of steering committees of the Underground Construction Prague conferences, including the conference 2019 being currently under preparation. His long-lasting activity was appreciated in 2013 by the award of the ITA-AITES CzTA commemorative medal. Ing. Smolík was a member of the Editorial Board of the Czech Road Society and, from 1995, he organised very actively and tirelessly the work of the Road Tunnels section of the Czech Road Society. It is not possible to forget his activities in the Editorial Board of Silniční Obzor (Road Horizon) journal, where he made permanent effort for publishing papers on the underground construction topics.

The nearly sixty years of his activities in the Czech tunnel construction community cannot be forgotten. I would like to express our thanks for his lifelong contribution to the underground construction industry on behalf of all members of the CzTA and members of the Road Tunnel section of the Czech Road Society, which, I am sorry, will not be heard by him. Anyway, the symbolic thanks of us all had to be expressed to honour his memory.

prof. CEng. JIŘÍ BARTÁK, DrSc.

Z ČINNOSTI PRACOVNÍCH SKUPIN CZTA WORKING GROUPS

ZPRÁVA O ČINNOSTI PRACOVNÍ SKUPINY PRO KONVENČNÍ TUNELOVÁNÍ REPORT ON ACTIVITIES OF WORKING GROUP FOR CONVENTIONAL TUNNELLING

The Working Group continues to prepare the "Manual for conventional tunnelling", which will follow up to the "Rules and principles of the NATM, the prevailing conventional tunnelling method in the CR" from August 2006. The objective of the updated manual is to provide comprehensive overview of individual conventional methods. The manual will be divided into nine chapters. Apart from the summary overview and characteristics of individual methods, it will first of all provide a view of specifics of planning, design, tendering and realisation of a project. Publication is planned for the end of 2019.

Pracovní skupina pokračuje v přípravě „Příručky pro konvenční tunelování“, která naváže na „Zásady a principy NRTM jako převažující metody konvenčního tunelování v ČR“ ze srpna 2006.

Přestože v ČR nadále zůstává nejpožívanější metodou NRTM, cílem aktualizované příručky je poskytnout ucelený přehled jednotlivých konvenčních metod. Některé z nich byly v minulosti použity při výstavbě některých tuzemských tunelů, jako je např. metoda obvodového vrubu na tunelu Chomutov – Březno, nebo metoda Kernbauweise na tunelu Dobrovského apod. S jinými metodami se naši tuneláři naopak setkávají při práci v zahraničí, kde působí v čím dál větším měřítku s ohledem na malý rozsah tuzemských projektů podzemního stavitelství. Zde se jedná především Drill & Blast široce rozšířenou ve skandinávských zemích.

Příručka bude členěna do devíti kapitol, poskytne kromě souhrnného přehledu a charakteristických znaků jednotlivých metod především pohled na specifika přípravy, návrhu, zadání a realizace stavby.

V současné době pracovní tým zpracoval převážnou většinu konceptů jednotlivých kapitol a počítá s vydáním příručky již na konci letošního roku.

Ing. JIŘÍ MOSLER



*Obr. Příručka o NRTM z roku 2006
Fig. NATM manual from 2006*

Successful in Tunnelling

with a Master's Degree in NATM Engineering

NATM – New Austrian Tunnelling Method

Master's Programme:
NATM Master of Engineering
Construction, Rehabilitation and Operation of
NATM- & TBM-Tunnels

Next start / September 2019

Contact: Graz University of Technology,
+43 (0)316 873-8114; NATM@tugraz.at
www.natm.at

Programme Directors:

Prof. Thomas Marcher, Graz University of Technology
Institute for Rock Mechanics and Tunnelling
thomas.marcher@tugraz.at

Prof. Robert Galler, Montanuniversität Leoben
Chair of Subsurface Engineering
robert.galler@unileoben.ac.at

Výstavba dálničního tunelu Spitzenberg, Německo
Construction of Spitzenberg motorway tunnel, Germany

Jsme spolehlivý partner v podzemí,
na železnici i na povrchu,
působíme v České republice
i v zahraničí.

We are a reliable partner
under the ground, on the railways
and above the ground, active in both
the Czech Republic and abroad.

SUBTERRA 

www.subterra.cz

Nedržíme se při zemi